PFLANZEN-PSYCHOLOGIE

ALS ARBEITSHYPOTHESE DER PFLANZENPHYSIOLOGIE

VON R. H. FRANCÉ

Pflanzenpsychologie

als

Arbeitshypothese der Pflanzenphysiologie

Von

R. H. FRANCÉ
München

Mit 26 Abbildungen



Stuttgart 1909
Franckh'sche Verlagshandlung

Druck der Stuttgarter Vereins-Buchdruckerei

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung. (Die wahre Aufgabe der Pflanzenphysiologie) . . 5
II. Analyse des Reaktionsvermögens der Pflanze 13
III. Die Annahme einer Pflanzenpsyche als Arbeitshypothese . . 22
IV. Das experimentelle Beweismaterial der Pflanzenpsychologie . . 32
1. Reizhandlungen der Pflanzen 33
Umformungen 45
(funktionelle Anpassungen, direkte Anpassungen.)
2. Regulationen 59
Regulationshandlungen 76
3. Regenerationen 78
4. Übereinstimmungen der Gesetze pflanzlicher Sinnesphysiologie und der Psychologie 82
V. Heuristik der Pflanzenpsychologie 99
VI. Literatur der Pflanzenpsychologie 102
Register 106



I. Einleitung.

„Da man den Pflanzen zur Zeit eine Seele zuzusprechen nicht gewohnt ist, so konnte man nicht, wie bei den Tieren, ihre einfachen Bewegungen, deren Ziel die Befriedigung von Lebensbedürfnissen ist, auf die Tätigkeit einer solchen schieben und sie damit aus der naturwissenschaftlichen Betrachtung verbannen. Es galt, sie aus Wirkungen der Kräfte von außen her zu erklären. Das Abwärtsstreben der Wurzeln und das Aufwärtswachsen der Sprosse wurde der Schwerkraft zugeschrieben, die Neigung der laubtragenden Stengel zum Licht den schwingenden Kräftewirkungen des Lichtes selbst und vielleicht der Wärme."

So sprach Johannes v. Hanstein in seiner Rede beim Antritt des Rektorats der Bonner Universität im Jahre 1879.[1] Die damit gekennzeichnete Anschauung beherrscht die Pflanzenphysiologie bis heute. Denn diese bezeichnet sich nicht als Wissenschaft, die alle Ursachen der pflanzlichen Lebenserscheinungen aufzudecken hat, sondern verklausuliert ihre Aufgabe in eigenartiger Weise. Willig trat sie in die Fußstapfen von J. Sachs, wenn er erklärt:[2] „Der experimentalen Untersuchung unmittelbar zugängig sind — bloß die physikalischen oder äußeren Ursachen des Wachstums, indem wir die inneren erblichen einfach als etwas Gegebenes und in der Hauptsache Unveränderliches betrachten müssen." An derselben Stelle sagt er: „Da nun also das spezifisch Eigentümliche der Organisation eines Pflanzenteils etwas uns in seinem Wesen völlig Unbekanntes ist, so muß jede Untersuchung der Wachstumsvorgänge sich damit begnügen, zu zeigen, wie sie bei konstanten inneren Bedingungen verlaufen, welche angebbaren Veränderungen

[1]) J. v. Hanstein, Über den Zweckbegriff in der organischen Natur. Bonn. 8°. 1880.

[2]) J. v. Sachs, Lehrbuch der Botanik. IV. Aufl. Leipzig 1874. S. 745.

die physikalischen Einwirkungen an den Wachstumsvorgängen hervorbringen. Man darf sich daher auch nicht wundern, wenn wir bei der Einwirkung bekannter äußerer Ursachen (des Lichts, der Schwere usw.) Effekte an den Pflanzen hervortreten sehen, die dem an rein physikalische Vorgänge Gewöhnten ganz unerhört scheinen; diese Verwunderung schwindet aber, wenn man beachtet, daß die spezifische Organisation eines Pflanzenteils selbst einen Komplex von Ursachen repräsentiert, den wir gegenwärtig weder analytisch noch synthetisch verändern und daher nicht beurteilen können. Gerade in der beständigen Beachtung dieses nun einmal gegebenen Unbekannten, durch welches die physiologischen Effekte so ganz anders ausfallen als die rein physikalischen, liegt der Unterschied der Physiologie und Physik."

Damit ist ganz unzweideutig als Problem der Pflanzenphysiologie das gleiche aufgestellt, was neuere Botaniker nur mit anderen Worten ausdrücken, wenn sie sagen: Aufgabe dieser Wissenschaft sei, die Bedingungen aufzuzeigen, welche die Lebenserscheinungen auslösen.

Die ganze neuere Pflanzenphysiologie setzt somit das Werk von Sachs fort und schreitet in seinen Begriffen einher; diese Feststellung ist unser Ausgangspunkt. Sie operiert bis heute mit einer als „gegeben" betrachteten Eigenart der Pflanze, kraft welcher diese reagiert, und die uns, ganz wie es Sachs meint, als nicht analysierbar erscheint. Befragt um die Belege solcher Behauptung, kann man mit Leichtigkeit dahinzielende Aussprüche der Führer dieser Wissenschaft aufzählen. Hier nur einige:

J. Wiesner[1]) meint bei Erörterung der hier aufgeworfenen Frage: „Die berufensten Forscher sind darin einig, daß sich die Zweckmäßigkeiten der Organismen mechanisch nicht erklären lassen und als eine spezifische Eigentümlichkeit, als eine Grundeigenschaft der Lebewesen angesehen werden müssen, die man als gegeben anzunehmen habe, über deren Ursprung, Ursachen und Zustandekommen sich aber ebensowenig etwas Positives sagen lasse wie über die Herkunft der Materie." Und er schließt sich dem an, daß die das Leben charakterisierenden Zweckmäßigkeiten sich nicht auf ihre Entstehungsursache zurückführen lassen. G. Haberlandt sagt in der Einleitung seiner grundlegenden physiologischen Pflanzen-

[1]) J. Wiesner, Zur Biologie der Blattstellung. (Biolog. Zentralblatt, Bd. XXIII, 1903, S. 213.

anatomie (S. 7): „In allen Fällen hat man mit dem Bestehen zweckmäßiger Anpassungen als etwas tatsächlich Gegebenem zu rechnen. Die physiologische Pflanzenanatomie beschreibt diese Anpassungen im innern Bau der Pflanzen, sie gibt aber keine Erklärung ihres Zustandekommens und will auch keine geben.“ Noch in allerneuester Zeit erklärt K. Goebel schlicht und trocken: „Worin die Verschiedenheit in der Reaktionsfähigkeit beruht, ist unbekannt.“ [1])

Diese Beispiele könnten verzehnfacht werden, wovon wir aus Raummangel absehen. Aber niemand wird leugnen, daß die Pflanzenphysiologie bisher verzichtet hat auf die wissenschaftliche Analyse dieser undefinierten und von ihr als undefinierbar bezeichneten geheimnisvollen Fähigkeit der Pflanze, die von ihr bald als Reaktionsfähigkeit, bald als innere Ursache, als ererbte oder primäre Struktur, kurz als „das Gegebene“ bezeichnet wird. Stets aber hat sie diesen wahrhaft okkulten Komplex in die Objektreihe unbedenklich eingeführt als ein „Veränderliches“, das stets die Gleichung zwischen Ursache und Wirkung schließt. Man kann sich bei größter Ruhe des Urteils den Ausdruck nicht versagen, daß dies Mystik sei. Da das vorliegende Werk nicht behaupten, sondern beweisen will, dürfen wir uns einige Belege für diese Mystik nicht ersparen. Eine neuerdings in Mode gekommene Art, sich der Analyse dieses dunklen Reaktionsvermögens der Pflanzen zu entziehen, liebt es, das Unerklärte (das zu erklären man sich prinzipiell weigert!) in den Stoffwechsel der Pflanze zu verlegen. Man folgt eben auch darin den Spuren von J. Sachs, dessen Theorie der organogenen und formativen Stoffe feste Wurzeln faßte.

Ein wahrhaft klassisches Beispiel der Widersprüche, in die sich diese Richtung verwickelt hat, bietet das altbekannte Problem der Polarität, wie es sich jederzeit an Stecklingen demonstrieren läßt. Wenn ein Weidensteckling ohne weiteres eine „Spitze“ und eine „Basis“ dadurch erkennen läßt, daß er niemals anderswo Sprosse treibt, als an dem Ende, das dem Vegetationspunkte zugekehrt ist, und nirgends Wurzeln, als an dem entgegengesetzten Ende, so mutet es ganz eigen an, wenn Sachs dies — wenigstens anfänglich — ausschließlich [2]) damit für erklärt hält, daß in dem

[1]) K. Goebel, Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen. Leipzig 1908, S. 35.

[2]) Vgl. J. Sachs, Stoff und Form der Pflanzenorgane (Arbeiten aus dem botanischen Institut in Würzburg. II. 1880—1882).

Steckling „organbildende Stoffe" strömen, auf welche die Schwerkraft so wirkt, daß die wurzelbildenden nach unten, die laubsprossbildenden nach oben strömen. Es entsteht durch diese Annahme die Schwierigkeit, das natürliche Verhalten zu erklären, da bekanntlich auch bei umgekehrt aufgehängten Stecklingen die Polarität sich in gleicher Weise meldet. Sachs suchte dem zu begegnen, indem er nun auf einmal die Behauptung aufstellt: dies sei noch ein alter Einfluss der Schwerkraft, der nachwirke! Also allen Ernstes eine Art „Erinnerung der Schwerkraft". Aber auch ganz abgesehen davon, ist dieser Vorstellungskreis, der es der Schwerkraft überläßt, wurzelbildende von sproßbildenden Stoffen zu scheiden, als eine offenbare Vermenschlichung der Naturkräfte genau so naiv wie die Vorstellungen des 18. Jahrhunderts. Als deren Vertreter „erklärt" Duhamel du Monceau in seiner „Physique des arbres" schon anno 1764 die gleiche Polaritätserscheinung genau so materialistisch-mythologisch damit, daß der zur Entwicklung der Wurzeln bestimmte Saft die Neigung habe, nach unten zu gehen.

Man halte uns aber nicht entgegen, daß ja Sachs in seinen „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie" diese Anschauung selbst korrigiert habe. Denn darin hält er erstens die Schwerkrafthypothese noch immer aufrecht und verlegt im übrigen die noch „restliche" Erklärung der Polarität auf einmal in die so vortrefflich benützbare „innere Disposition der Pflanze", die es beurteilt, wohin die organbildenden Stoffe zu wandern haben. Mit Recht wendet sich Morgan-Moszkowski[1]) gegen dieses Vorgehen, indem er sagt: „Er hat also zuerst angenommen, daß die Richtung der Ströme die Polarität bestimme, nun dreht er die Sache um und benutzt die Polarität oder ‚innere Dispotion' dazu, um zu erklären, warum die Strömung in ganz bestimmter Richtung stattfinde. Ein circulus vitiosus in optima forma!"

Und dieser vollkommene Widerspruch ist die Grundlage einer neueren Theorie, welche die Lenkung des Lebensgeschehens in den Stoffwechsel verschiebt.

Als Anwalt der Sache will ich auch hier die Natur reden lassen. *Myriophyllum proserpinacoides* bildet, wie viele Wasser- und Sumpfpflanzen, sowohl Landsprosse wie Wasserblätter, je nach den Umständen, die das Gewächs zur Umformung zwingen. Land-

[1]) Th. H. Morgan, Regeneration. Leipzig 1907, S. 108.

sprosse dieser Pflanze, die man in Wasser so versenkte, daß nur ihre Spitze daraus hervorragte, bildeten nun keine Wasserblätter, wohl aber wuchsen sie ungemein rasch, rascher, als es je bei Landpflanzen beobachtet wurde. Geriet die Endknospe unter Wasser, dann bildeten sich Wasserblätter. Dies geschieht dadurch, daß sich die Blätter früher strecken als bei den Landblättern. Einer der Vertreter dieser Sachsschen Anschauungen meint nun:[1]) „Zu dieser Verfrühung der Streckungsperiode ist reichliche Wasserzufuhr eine Bedingung, aber nur eine Bedingung, nicht die eigentliche Ursache. Diese ist gegeben in der verschiedenen stofflichen Beeinflussung, welche darüber entscheidet, ob Wasser- oder Luftblätter entstehen sollen."

Es wird hier also der Versuch gemacht, den inneren Zustand, von dem die Reaktion der Pflanze abhängt, zu definieren, indem die „Entscheidung über die einzuschlagende Gestaltungsrichtung" in das Vorhandensein von Baumaterialien verlegt wird. Das ist vollständig eine Erneuerung der Sachsschen Lehre von den organbildenden Stoffen. Aber ist denn in irgendeiner Beziehung etwas für das wirkliche Verständnis des Geschehens gewonnen, wenn man weiß (was man sich ja ohnedies von vornherein denken konnte), daß auch die Pflanze ohne passendes Baumaterial nicht bauen kann? Die experimentelle Morphologie, wie sich diese Richtung neuerdings bezeichnet, zeigt uns, daß, wenn die Pflanze die Baustoffe für Blätter oder Geschlechtsorgane hergestellt hat, sich solche auch bilden; sie hat experimentell erweisen können (wie es uns namentlich Klebs gezeigt hat), daß man durch künstliche Wiederholung von Reizen die Pflanze auch unabhängig vom momentanen Nutzwerte ihres Handelns zu gewissen Bildungen zwingen, bildlich gesagt: daß man sie also täuschen kann. Was ist aber dadurch erreicht für eine Rechtfertigung der Stofftheorie? Nichts anderes, als wie H. Driesch bei gelegentlicher Beleuchtung des gleichen Problems einmal sehr witzig sagte: Wir erfahren eigentlich nur, daß die organbildenden Stoffe (unter natürlichen Verhältnissen) da sind — weil sie gebraucht werden! Wurden sie doch, oder wenigstens ihre Bedeutung, nur aus ihren Folgeerscheinungen erschlossen![2])

[1]) K. Goebel, Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen. Leipzig 1908, S. 46.

[2]) H. Driesch, Die organischen Regulationen. Leipzig 1901. S. 116.

Das Tausendblatt wächst rascher, wenn es gilt, den Endsproß über Wasser zu erhalten. Es beschleunigt also seinen Stoffwechsel. Durch welche Ernährungsänderung? Es ist ja keine eingetreten, außer der, welche der Vertreter der Stofftheorie voraussetzt, um die Beschleunigung durch Änderung des Stoffwechsels „erklären" zu können! Es ist also auch hier der Zirkelschluß angewendet, daß man, um ein Geschehen zu erklären, ein Geschehen annimmt, durch welches das zu Erklärende geschieht. Es ist jedem Gärtner bekannt, daß eine zu gut genährte Pflanze nicht blüht. Sie erzeugt also keine Blütenstoffe durch die Art der Ernährung, in die man sie gezwungen hat. In diesem Fall nimmt man an, das Nichtblühen sei erklärt dadurch, daß — die Pflanze nicht blühe, d. h. keine Blütenstoffe erzeuge. Man würde es für Scherz halten, wenn dies nicht heute geläufige „Erklärungen" der ernstesten Frage der ganzen Pflanzenkunde wären.

Gewiß wird niemand leugnen, daß sich Sachs und die Experimentalmorphologen ein großes Verdienst erworben haben, indem sie mit treuer Arbeit und scharfsinnigen Versuchen die Bedingungen zeigten, von denen das in der Pflanze „Entscheidende" abhängig ist. Ihre Arbeiten werden deswegen immer von Wert sein. Aber sie werden sich doch wohl selbst dagegen wehren, wenn es ihnen klar wird, daß sie den Stoffwechsel als das „Entscheidende" ausgegeben haben, ihn also zur handelnden „Person" machten. „Daß etwas ohne eine bestimmte Bedingung nicht geschehen könne, heißt offenbar nicht, daß es bei Erfüllung dieser Bedingung geschehen müsse, und heißt erst recht nicht, daß es aus dieser Bedingung verständlich sei." Dieser Satz von Driesch trifft auch in der soeben untersuchten Frage den Nagel auf den Kopf.

Wir haben diesen ganzen Ausflug deshalb unternommen, um zu zeigen, daß die Pflanzenphysiologie von der Einsicht nicht loskommen kann, daß irgendwo in der Pflanze Entscheidungen über die Richtung ihrer Tätigkeit gefällt werden.

Der materialistische Weg, dessen Irrsal wir soeben verfolgten, ist jedoch nicht der einzige, auf dem man sich versuchte. Es hat nicht an der Entgleisung gefehlt, die Entscheidung in die Umwelt, in die Umgebung der Pflanze zu verlegen. Diese Richtung, die sich auch als „mechanistischer Lamarckismus" bezeichnet, glaubte erst an eine „direkte Bewirkung", die sie dann zu dem Begriff funktioneller Anpassung umformte in dem Sinne, wie dies in der Tier-

anatomie W. Roux vorgedacht hat. Auch in diesem Fall wird es nicht vermieden, das mystische „Gegebene“ als Hauptfaktor in die Rechnung einzusetzen mit willkürlich gewählten Werten, die allein von dem Erklärungsbedürfnis bestimmt werden.

G. Klebs vertritt z. B. in seinen neueren Werken, die diese Richtung im Wesentlichsten gefördert haben, folgenden Standpunkt. Direkte Anpassung ist bedingt durch eine von vornherein gegebene bestimmte Struktur des Plasmas, die er sich allerdings als „chemisch-physikalisches Substanzgemisch“ vorstellt, durch welche die Veranlagung der Pflanzenzellen, ihre „Potenz“, zum Ausdruck kommt.

Wir können uns also wohl weitere Beispiele sparen, dafür auf den bisherigen Grundlagen getrost die Behauptung aufstellen, daß die Botanik in der Grundbeurteilung der pflanzlichen Lebenserscheinung noch mitten im Deismus des 18. Jahrhunderts steckt, der die verborgene Triebfeder aller mechanistischen Naturwertungen ist, daß sie seitdem in dieser Frage keinen wesentlichen Fortschritt gemacht hat, wenn sie behauptet, das Wesen des Pflanzenlebens beruhe in einem unerforschlichen „Gegebenen“. Das bedeutet mit anderen Worten: unsere Pflanzenphysiologie steht noch auf dem Standpunkte Linnés, daß die Pflanze geschaffen sei. Der Entwicklungsgedanke ist in sie noch nicht eingezogen.

Es wäre im höchsten Grade fesselnd, die wissenschaftsgeschichtlichen Bedingungen dieser Erstarrung der Lebenswissenschaft zu untersuchen, und ein solcher Versuch könnte leicht zu einem vielfarbigen Kulturgemälde eines ganzen Jahrhunderts erweitert werden. Es würde uns aber das von unserem eigentlichen Ziele ablenken, und so mag es nur gerade gestreift werden, wie denn der Mechanismus in der Pflanzenphysiologie überhaupt möglich sein konnte.

Die Herrschaft allgemeiner Ideen führt in unphilosophischen Zeitaltern mit besonderer Leichtigkeit zu den Irrtümern schablonenhaften Denkens und dadurch falscher Verallgemeinerungen. Weil es um die zweite Hälfte des vorigen Jahrhunderts im höchsten Grade wahrscheinlich wurde, daß gleiche Kräfte einheitlich in der ganzen Natur wirksam sind, schloß man ohne weiteres, daß daher nur chemisch-physikalische Kräfte auch das Organische so bedingen wie das Anorganische. Aus dieser Versuchsaufstellung leitete man Forschungsmaximen ab. Man beging dabei den Fehler, voreilig eine Versuchshypothese als erkanntes Gesetz aufzufassen. Denn

nur aus einem solchen durfte man es ableiten, was langsam zum Glaubenssatz der Physiologie wurde: daß nämlich diese Wissenschaft nur auf die Zerlegung des Organismus in Anorganisches hinarbeiten dürfe. Was sich nicht auf chemisch-physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückführen ließ, das wurde dann aus Verlegenheit als ein „Unlösbares, daher Gegebenes“ hingestellt. Nie wurde der ernstliche Versuch gemacht, zu untersuchen, ob dies „Gegebene“ wirklich aller Forschung unzugänglich sei oder bloß der mechanistischen Forschungsrichtung. Und so entstand der heutige Zustand der Pflanzenphysiologie, den wir soeben geschildert haben.

Man übersah bei dieser Denkungsart übrigens völlig, daß der hypothetische Monismus, von dem die Mechanisten ausgehen, es mit gleicher Logik bedingt, das Psychische des Menschen dem Wesen nach auch in Tier und Pflanze zu suchen. Jene, die ein Psychisches in der Zelle und Pflanze leugnen, müssen deshalb verlegen schweigen, wenn man sie fragt, wie denn bei Annahme der Gültigkeit der Entwicklungslehre ein Psychisches in den Menschen hineingekommen sei.

Schon diese einfachen Gedankengänge erlauben uns, ein Sicheres auszusprechen. Und das ist: Die mechanistische Problemstellung mag noch so viele Bedingungen des Lebensgeschehens durch ihre Versuche aufzeigen, sie wird trotzdem nie dem *ganzen* Komplex des physiologischen Problems gerecht. Immer bleibt ihr ein ihrer Methodik unzugänglicher Rest in der Hand, den man nicht in Bedingungen auflösen kann, und den sie daher in einer für moderne Naturforschung beschämenden Weise als „gegeben“ betrachten muss. Dieser „Rest“ fällt durchaus nicht mit dem Problem der Materie als solchem zusammen. Mindestens hat noch niemand dies besonders untersucht. Ein Begriff, den man als „Reaktionsvermögen der Pflanze“ umschrieben hat, deckt sich doch nicht mit dem Geheimnis, das den Urgrund der Welt überhaupt umwittert, sondern ist offenbar weiterer Analyse zugänglich, bis allerdings auch er zur letzten Grenze des menschlichen Erkenntnisvermögens leitet.

So haben wir die Pflanzenphysiologie in ihrem heutigen Zustande als eine formale und nicht als kausale Wissenschaft durchschaut. Sie gestand uns auf dringendes Befragen ein, daß sie nach Bedingungen und nicht nach wahren Ursachen forscht.

Geringe philosophische Schulung läßt in dem neueren biologischen Schrifttum manchmal die Meinung verlauten, nach Bedingungen zu forschen, sei allerdings auch kausale Forschung. Es müßte dann eine Bedingung eine Ursache sein; dies ist sie jedoch in Wirklichkeit niemals, da als Ursache nur ein der Folgeerscheinung überhaupt wirksam Vorangehendes bezeichnet werden kann, nie aber ein das Geschehen nur Einschränkendes, dem in der philosophisch gerechtfertigten Sprache die Bezeichnung Bedingung vorbehalten bleiben muß. Wer bei dem Lebensgeschehen nach Bedingungen forscht, wird nie etwas anderes als Anhaltspunkte gewinnen, warum dies und jenes nicht eintreten kann, niemals aber den zureichenden Grund, warum gerade die beobachtete Wirkung eintrat. Diesen Grund erkennt man nur mit einer kausalen Problemstellung, zu der sich Pflanzenphysiologie so lange nicht aufgeschwungen hat, als sie nicht die Potenz der Pflanze, ihr Reaktionsvermögen, ihre inneren Kräfte oder, wie man sonst ihr „Gegebenes“ bezeichnen mag, analysiert.

Wir stellen also die Forderung auf, daß neben der Frage der Bedingungen auch jene erforscht werden müsse, die da lautet: Wie ist das Reaktionsvermögen beschaffen, mit welchen Gesetzmäßigkeiten, mit physikalischen oder psychischen läßt es sich in Analogie bringen?

Diese Arbeit kann nie von einer bloß beschreibenden Pflanzenphysiologie, wie sie jetzt herrscht, geleistet werden, sondern nur von einer vergleichenden Physiologie der Pflanzen, deren Grundzüge hier entworfen werden sollen.

Dieser neue Forschungszweig ist eine durchaus experimentelle Wissenschaft, deren Ziel das wahre Problem der Pflanzenphysiologie ist, als welches wir die Aufgabe bezeichnen: aus den verwirrenden Hüllen der Bedingungen die Ursache der lebendigen Erscheinungen des Pflanzenkörpers zu entkleiden.

II. Analyse des Reaktionsvermögens der Pflanze.

Daß auf die Dauer das Lebendige, d. h. das Reaktionsvermögen der Pflanze, nicht als ein unwissenschaftliches mystisches „Gegebenes“ aufgefaßt werden kann, haben zahlreiche Botaniker unserer Tage empfunden. Aber da niemand die Arbeitsgebiete abgegrenzt, niemand die analytischen Methoden geschaffen hat, die tiefer dringen als bloß in die — wenn man so sagen darf —

„Bedingungenverkettung", so mußte jeder Forscher, der das oben gekennzeichnete Bedürfnis empfand, sich Deutungen auf eigene Faust zurechtmachen, die gewöhnlich nicht über eine bloße Andeutung hinausgehen. Wenn hier einige solcher Angaben aus dem physiologischen Schrifttum zusammengestellt werden, so geschieht es, um zu beweisen, daß schon der erste Versuch, über diese Frage nachzudenken, unwiderstehlich auf dieselbe Lösung führt; so sehr liegt diese im ganzen Wesen der Pflanze, in ihrem Auffälligsten und in der feinsten Einzelheit zutage. Man wird sich ein Jahrzehnt später verwundert fragen, wie es denn überhaupt auch nur einen Pflanzenkundigen geben konnte, der es nicht bemerkte, daß die Pflanze mit tausend Lebensäußerungen verrät, auch ihr Dasein spiele sich nach denselben psychischen Gesetzmäßigkeiten ab, wie das der Tiere und des Menschen. Daß es psychische Gesetzmäßigkeit ist, die in den physiologischen Effekten zutage tritt und sie so scharf von rein physikalischem Geschehen scheidet, daß darob viele Naturforscher in völliger Verwirrung lieber erklärten, hier sei die Grenze der analytischen Erkenntnis erreicht, als daß sie zugestanden hätten, daß nur die Mechanik angesichts seelischer Erscheinungen versage!

Ich lasse nun statt meiner zehn der führenden Pflanzenphysiologen unserer Tage den Beweis bringen, daß die ganze Pflanzenforschung dem Gewächs seelische Kräfte zuschrieb, wenn sie überhaupt über die Eigenart der pflanzlichen Lebenserscheinungen nachdachte.

C. Nägeli[1]) erklärt sich das Zustandekommen von Anpassungen dadurch, daß „sinnliche Eindrücke samt den dadurch bedingten Empfindungen, Vorstellungen und Willensäußerungen ... sichtbare Veränderungen in Bau und Verrichtung hervorbringen". Wie er sich das im konkreten Fall vorstellt, erläutert er z. B. auf S. 162 seines Werkes durch folgendes Beispiel: „Es handle sich um den Schutz der Landpflanzen gegen das Verdunsten. Dieselben sind die Nachkommen von Wasserpflanzen, die von Wassermangel nichts wußten. Als die Gewächse das bisherige Medium mit feuchter Luft vertauschten, wurde die genannte Voraussetzung nicht mehr erfüllt. Die aus dem Idioplasma hervorgehende Pflanzensubstanz, welche nun etwelcher Verdunstung ausgesetzt war, empfand

[1]) C. Nägeli, Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre. München und Leipzig 1884. Satz 6.

also den Mangel von etwas, das ihr bisher nicht mangelte, und dieser Mangel konnte als Reiz wirken, welcher zu den von außen wirkenden Reizen hinzukam – oder, um mich anders auszudrücken, dieser Mangel konnte der Reaktion des Organismus auf die äußeren Reize die bestimmte Richtung geben, so daß die Anpassung in einer zur Befriedigung des empfundenen Bedürfnisses dienenden Weise erfolgte." Diese Erklärung bedient sich so vollständig der Begriffe der Psychologie und überträgt eigentlich so kritiklos die psychischen Gesetzmäßigkeiten in die Botanik, daß wir heute, da uns doch noch eine ganz andere Einsicht in das Innenleben der Pflanzen offensteht, uns scheuen, eine dermaßen vermenschlichende Ausdrucksweise anzuwenden.

Und trotzdem zögerte J. Schwendener[1]) nicht, die Nägelische Theorie anzunehmen. Er sagt von ihr, sie beruhe auf Tatsachen, die eine andere Deutung nicht zuließen. Er meint: „Es ist hiernach als festgestellt zu erachten, daß durch die veränderten Lebensbedingungen in der Pflanze selbst Kräfte ausgelöst werden, welche direkt eine zweckmäßige Umgestaltung der Gewebe oder Organe bewirken, also das, was man Anpassung nennt, ohne alle Umwege herbeiführen."

Ch. Darwins Worte über die Gehirnfunktion der Wurzelspitze sind zu bekannt, als daß sie noch besonders zitiert zu werden brauchen. Wohl aber ist es nützlich, einen anderen Satz aus seinen grundlegenden Untersuchungen über die Bewegungen der Pflanzen ins Gedächtnis zu rufen, weil er fast ein Menschenalter vor Haberlandt dessen Hauptergebnis vorwegnimmt. „Wir wissen aber jetzt," sagt Darwin[2]), „daß es allein die (Wurzel-)Spitze ist, die beeinflußt wird, und daß dieser Teil einen Einfluß auf die benachbarten Teile überleitet und es verursacht, daß diese sich abwärts krümmen. Die Schwerkraft scheint in keiner direkteren Weise auf ein Würzelchen einzuwirken, als sie auf irgendein niedrig organisiertes Tier wirkt, das sich fortbewegt, wenn es irgendein Gewicht oder einen Druck fühlt."

Mit einschlägigen Zitaten aus Pfeffers Werken könnte man ein Buch füllen. Ich beschränke mich auf zwei. In der Schrift

---

[1]) J. Schwendener, Über den gegenwärtigen Stand der Deszendenzlehre in der Botanik (Naturwiss. Wochenschrift 1902, S. 124).

[2]) Ch. Darwin, Das Bewegungsvermögen der Pflanzen (übersetzt von V. Carus). Stuttgart. 2. Aufl. 1899, S. 467.

über die Reizbarkeit der Pflanzen, welche einen Markstein der Entwicklung, die wir hier zu einer bewußten gestalten wollen, bedeutet, heißt es bei ihm: „Ebenso wie in anatomischer und morphologischer Hinsicht stellen auch Pflanzen und Tiere dieselben allgemeinen physiologischen Probleme, und für beide muß in gleichem Sinne die Frage beantwortet werden, inwieweit Pflanzen und niederen Tieren psychische Regungen zuzugestehen sind. Doch ist es für uns nicht geboten, auf dieses Thema einzugehen, welches von dem objektiven Boden in ein Gebiet rein subjektiv gefärbter Spekulation führen muß. . . . Wir dürfen indes immerhin, ebenso wie bei niederen Tieren, in einem wohlberechtigten, aber nur metaphysischen Sinn von einem Empfinden, von einer Sensibilität der Pflanze reden.“ [1])

Daß dieser Forscher aber trotz der Verwahrung, daß Anerkennung psychischer Gesetzmäßigkeiten im Pflanzenleben Einführung metaphysischer Begriffe bedeuten würde, nicht ohne Psychologie auskommen kann, beweist seine neueste Veröffentlichung über die Entstehung der pflanzlichen Schlafbewegungen, in der er ungescheut von „einem real bestehenden Bestreben nach einem 12 : 12 stündigen Bewegungstempo“ der Blätter von *Phaseolus* spricht [2]).

J. Wiesner liefert ebenso viele Beispiele seiner Überzeugung, daß sich die Pflanze psychischer Fähigkeiten zum Zwecke möglichsten Lebensgenusses bei bestem Haushalte bedient. Auch hier genüge ein Beispiel. Wiesner schreibt: „Der Zweck des Wendens der Blüten bzw. der Blütenstände zum Licht besteht wohl hauptsächlich darin, diese Organe guter Beleuchtung zuzuführen, damit sie von den die Befruchtung vermittelnden Insekten rasch aufgefunden werden können“. [3]) Aber derselbe Forscher, der in seiner Rektoratsrede vom Jahre 1898 ohne jede Einschränkung ein Empfindungsleben der Pflanze zugibt, [4]) schneidet sich an gleicher

---

[1]) W. Pfeffer, Über die Reizbarkeit der Pflanzen (Verhandl. d. Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte 1893, S. 30).

[2]) W. Pfeffer, Untersuchungen über die Entstehung der Schlafbewegungen der Blattorgane (Abhandlungen d. Math.-Physik. Klasse der Sächs. Gesellschaft d. Wissenschaften Bd. 30, 1907) S. 360.

[3]) J. Wiesner, Die Stellung der Blüten zum Lichte (Biolog. Zentralblatt 1901, S. 811).

[4]) J. Wiesner, Die Beziehungen der Pflanzenphysiologie zu den anderen Wissenschaften. Wien 1898, S. 67.

Stelle den so schön angebahnten Versuch zu einer Analyse dieses Empfindungslebens selbst ab, indem auch er dort das unheilvolle Dogma unterschreibt, wonach die lebende Substanz einfach als gegeben zu betrachten sei. Mit welchem wissenschaftlich zureichenden Grunde wird aber dann der Pflanze eine hochintelligente (weil auf Beziehungen zu anderen Lebewesen gerichtete) Zwecktätigkeit zugeschrieben? Ist eine solche unter sotanen Umständen nicht im höchsten Grade mystisch? Doch wir wollen jetzt nicht eine Polemik entfachen, sondern Tatsachen feststellen.

Vöchting[1]) schreibt die Erscheinungen der Polarität und der Wiederherstellung abgeschnittener Pflanzenorgane einer „inneren Kraft“ zu, die er zwar anfänglich als „Resultat von gewissen, rein mechanischen Veränderungen in den Geweben“ vorstellt; aber bald sieht er ein, daß dadurch gerade das Wesen der Regeneration unerklärt bleibt. Deshalb mißt er seinem Begriff des „inneren Faktors“ so viele nichtphysikalische Eigenschaften bei, daß die ausgesprochenen Mechanisten, wie Sachs und Klebs, gegen ihn Protest erhoben.

Das hindert aber z. B. Klebs nicht, selbst den Begriff einer das Geschehen regulierenden Innerlichkeit anzuwenden, so wenn er der Vererbung erworbener Eigenschaften folgende Deutung gibt:[2]) „Ich würde nach meiner Auffassung den Sachverhalt so ausdrücken: Durch die vorgehende Kultur wurden in den Samen bestimmte innere Bedingungen geschaffen, die in der daraus hervorgehenden Generation noch nachwirken, obwohl die äußeren Bedingungen bis zu einem gewissen Grade entgegenwirkten.“ Er faßt das Problem der Formbildung sogar in einen Satz zusammen, der das Schwergewicht auf das Spezifische, auf das Selbst der Pflanze legt, indem er S. 61 des soeben genannten Werkes sagt: „Jede Formbildung ist das notwendige Resultat des Zusammenwirkens der Fähigkeiten der spezifischen Struktur mit den inneren Bedingungen, die selbst wieder von äußeren abhängen.“ Es ist dieser Satz geradezu das klassische Beispiel, daß die mechanistisch denkende Pflanzenphysiologie an ihrem toten Punkt angelangt ist. Denn die spezifische Struktur ist nach ihr als gegeben zu betrachten, und die inneren Bedingungen sind nicht analysierbar, da ja

[1]) H. Vöchting, Über Organbildung im Pflanzenreiche. Bonn 1878.

[2]) G. Klebs, Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen. Jena 1903, S. 151.

doch ihre Aufgabe mit der Aufzeigung von Bedingungen erschöpft ist. Also wäre mit der Feststellung eines Satzes wie des oben zitierten die letzte Aufgabe der Forschung erledigt und kein Fortschritt mehr möglich!

Es ist das ein die Forschung hemmender Agnostizismus, der die Pflanzenphysiologie bald zur Rolle byzantinischer Wissenschaft, zu bloßem Kommentieren und Glossieren herabdrücken würde — wenn er sich nicht überwinden ließe. Seine Überwindung wird stets versucht, wenn die Forscher den Ausdruck Reaktionsfähigkeit anwenden; dagegen wird das Problem stets auf totes Geleise gefahren, wenn jene sich mit dem rein formalen Begriff einer Selbstregulation bescheiden. Als Beispiel des letzteren mag Warming dienen mit der Stelle, in der er den Begriff der Selbstregulierung in der Botanik heimisch machte. Dort sagt er, er nähme an, „daß die Pflanzen eine besondere, angeborene Kraft oder Fähigkeit besitzen, sich an die gegebenen neuen Verhältnisse direkt anzupassen, d. h. auf eine für das Leben nützliche Weise in Übereinstimmung mit den neuen äußeren Lebensbedingungen zu variieren; der Verfasser nimmt also an, daß zwischen den äußeren Ursachen und dem Nutzen der Veränderungen eine gewisse Verbindung bestehe, die im übrigen unbekannt ist (Selbstregulierung oder direkte Anpassung).“ — „Die direkte Anpassung ist sicherlich einer der mächtigsten Entwicklungsfaktoren der organischen Welt. Durch ihr Studium wird das große Lebensgeheimnis uns etwas klarer werden; wir dürfen freilich nicht hoffen, dessen Kern je zu erkennen.“ [1])

Als Beispiele für das erstgenannte Bestreben dagegen kann ich Wettstein als unmittelbaren Anhänger Warmings nennen, wenn er die direkte Bewirkung als Fähigkeit des Organismus definiert, „sich in zweckentsprechender Weise den umgebenden Faktoren anzupassen“. [2]) Desgleichen Migula, [3]) der sich in seiner soeben erschienenen Biologie der Pflanze in fast wörtlicher Übereinstimmung hiermit äußert. Es ist bei solchen Bestimmungen (wenn auch in ganz vager Weise) erstens das in den Tatsachen der Anpassung liegende Problem empfunden und zweitens die Fragestellung wenigstens an den richtigen Punkt, nicht in die Um-

[1]) Warming, Lehrbuch d. oekolog. Pflanzengeographie, S. 382.
[2]) R. v. Wettstein, Über direkte Anpassung. Wien 1902, S. 22.
[3]) W. Migula, Pflanzenbiologie. 8°. Leipzig 1908.

gebung, in die Reizursachen, sondern in das Innere, in die Potenzen des Organismus, verlegt.

Es ist wohl überflüssig, weitere Beispiele zu häufen. Auch aus den bisherigen, die zwar bekannt genug, aber unentbehrlich waren, ergibt sich auf anderem Wege das gleiche, was sich in meinen Studien zur vegetabilen Reizphysiologie[1]) bezüglich der Tropismen aus der kritischen Zergliederung des vorhandenen Schrifttums gewinnen ließ. Daß nämlich die Führer der Forschung einerseits der Vorstellung ergeben sind, das pflanzliche Lebensgeschehen spiele sich ausschließlich unter der Alleinherrschaft physikalischer Gesetze ab, daß sie aber anderseits die Überzeugung erlangt haben, im Pflanzenleben mache sich ein Sondergeschehen bemerkbar, das in der Physik kein Analogon habe. Dieses Sondergeschehen wird nun in älteren Zeiten (Sachs, Wiesner, Warming) als ein unerklärlich Gegebenes betrachtet, neuerdings dagegen insofern etwas weniger mystisch umschrieben, als ein Reaktionsvermögen der Pflanze zur Herstellung ihrer Anpassungen angenommen wird, wobei Nägeli, Darwin, Schwendener, Pfeffer, also gerade die ersten Namen unserer Wissenschaft, mehr oder minder deutlich auf die bestehenden Analogien zu psychischen Gesetzmäßigkeiten hindeuten. Fassen wir also das Erreichte zusammen, so ergibt sich:

Unser Gang durch die neuere physiologische Literatur offenbarte folgende herrschende Ansichten: Die Pflanze hat „nachwirkende innere Bedingungen“ (Klebs), eine „angeborene Fähigkeit“, um für sie „Nützliches“ oder „Zweckentsprechendes“ herzustellen, (Warming, Wettstein), sich „zweckentsprechend umzugestalten“ (Schwendener); sie hat Empfindung (Wiesner), sie hat ein „Bestreben“ (Pfeffer), besitzt „innere Kräfte“ (Vöchting), sie empfindet „Mangel als Reiz“, der sie zu Tätigkeiten anspornt (Nägeli), sie hat eben ein „empfindliches Reaktionsvermögen“ (Migula).

Wir haben also durchaus den angetretenen Beweis bringen können. Mit einer einzigen Ausnahme[2]) beschreiben

[1]) R. H. Francé, Die Lichtsinnesorgane der Algen. 8°. Stuttgart 1908.

[2]) Es ist hier J. Reinke gemeint, der offen die Anpassungen der Pflanzen in theistischer Weise auf das Eingreifen eines Schöpfers zurückführt, mit dieser unwissenschaftlichen Annahme aber keinerlei wissenschaftlichen Anhang gefunden hat.

die Forscher unserer Tage das in der Pflanze eigenartig anpassend tätige Vermögen mit den Ausdrücken, wie man seelische Vorgänge zu umschreiben pflegt. Sie führen in die Pflanzenphysiologie eine verkappte Psychologie ein.

Dies ist der heutige Stand der allgemein anerkannten Kenntnisse vom Leben der Pflanze.

Gegen diese Art, Botanik zu betreiben, muß wissenschaftliche Selbstkritik Einspruch erheben. Man kann nicht zu gleicher Zeit behaupten, das pflanzliche Leben stehe unter der Alleinherrschaft physikalischer Gesetze, es stecke aber ein gegebener Faktor darin, dem man ein Wirken nach psychischen Gesetzen zuschreibt. Psychische Gesetze sind keine physikalischen. Es bleibt dadurch ganz unberührt, ob man letzten Endes das Wesen des Psychischen und der Physis im Sinne des Monismus einheitlich zu fassen vermag. Seine Wirkungsweise ist anders, darum gehört seine Erforschung einer anderen Wissenschaft an als der Physik.[1])

Wenn man so vorgeht, wie es hier für die moderne Botanik gezeigt wurde, begeht man den Fehler der unreinen Prinzipien. Und dieser Fehler vergröbert sich, wenn man psychistische Erklärungs- und Ausdrucksweise unkritisch vermischt neben physikalischen Prinzipien anwendet. Im Dienste des Fortschrittes einer wirklich fruchtbaren Forschung kann leider dieser Vorwurf nicht unausgesprochen bleiben. Wenn man so weit gedacht hat, versteht man es erst, warum so viele Forscher mit besonderem Eifer versichern, der Störenfried im physikalischen Bild vom Pflanzenleben sei unerforschlich, sei ein für allemal gegeben. Sie richten eben das Tor der Metaphysik dort auf, wo sich die Unzulänglichkeit ihrer Methode erweist. Tun sie das mit wissenschaftlich haltbaren Gründen? Sie haben es ja nie versucht, sich über diese für ihre Naturanschauung äußerst gefährliche Frage Rechenschaft zu geben! Auf diese Weise erhielt sich in der Pflanzenkunde ein Jahrhundert lang ein unklarer und kritikloser Zustand, den schon das kommende Jahrzehnt gar nicht begreifen wird. Denn man braucht diese Frage nur aufzuwerfen, und schon ist sie auch entschieden.

[1]) Physik ist hier immer im weiteren Sinne des Wortes verstanden, in dem sie Chemie einschließt.

Es werden sich in dem Maße, als die Pflanzenpsychologie zum zentralen Problem der botanischen Forschung wird, die Stimmen mehren, die behaupten, man wäre vereinzelt schon vor vielen Jahren über alles im reinen gewesen, was hier zur Diskussion gestellt wird. Dies soll auch gar nicht bestritten werden. Im Gegenteil, so wie es bereits vor mehr denn zwei Menschenaltern eine ganze Schule einer nur zum Teil phantastischen Seelenkunde der Pflanzen gab, die erste Namen (ich erinnere nur an Martius, Meyen, Treviranus, Fechner) für sich zu gewinnen wußte, so waren sicher auch unter den neueren Botanikern viel mehr von der Überzeugung, die hier verfochten wird, durchdrungen, als sich aus unzweideutigen Äußerungen erkennen läßt. Es ist nicht jedermanns Sache, den Kampf mit herrschenden Vorurteilen aufzunehmen, die bekanntlich viel schwerer beseitigt werden, als es Mühe kostet, eine neue Wahrheit zu begründen. Gerade die Tatsache, daß schon seit vielen Jahren das ganze botanische Schrifttum durchsetzt ist mit einer heimlichen Polemik, mit Verwahrungen gegen den Beseelungsgedanken, beweist, daß sehr viele Forscher seit langem sich in ständiger Versuchung befinden. Man betont seine Treue nur dann auffallend, wenn man sich heftig zur Untreue verleitet fühlt. Mit welchen Mitteln manchmal der Versucher zum Schweigen gebracht wurde, dafür möge ein sehr vielsagendes Beispiel zeugen, das tief in die „Psychologie der Forschung“ hinableuchtet.

J. Wiesner hat mit Glück dargetan, daß die Rätsel der Blattstellung sich ohne weiteres auflösen, wenn man die Frage biologisch behandelt. Das Blattstellungsgesetz ist nichts als der Ausdruck dessen, daß die Pflanze nach günstigster Lichtraumnutzung strebt. In seiner Studie, die hierfür die Beweise herbeischafft[1]) bezieht sich nun Wiesner auf den großen Widerstand, den Sachs in seinen berühmten Vorlesungen über Pflanzenphysiologie der Beachtung der merkwürdigen Hauptreihe entgegensetzte. Mit besonderer Betonung erklärte er, das häufige Vorkommen der Divergenzen 1/3, 2/5, 3/8, 5/13 usf. sei durch Schwendener auf einen Mechanismus zurückgeführt worden, da es durch den gegenseitigen Druck der Blattanlagen bedingt sei. „Nicht ohne Absicht“ — sagt hierüber Wiesner — „läßt Sachs die Hauptreihe mit 1/3 und nicht mit 1/2 beginnen. Da 1/2 an plagiotropen Sprossen

[1]) J. Wiesner, Zur Biologie der Blattstellung. (Biolog. Zentralblatt 1903, S. 251.)

so häufig vorkommt, hält er die $^{1}/_{2}$-Stellung orthotroper Sprosse für eine Eigentümlichkeit, welche außer Zusammenhang mit den übrigen Gliedern der Hauptreihe steht. So hat Sachs mit einer in wissenschaftlichen Dingen wohl nicht erlaubten Einseitigkeit wertvolle Tatsachen der Blattstellungslehre aus der Wissenschaft zu eliminieren gesucht und hat damit, wie man der Literatur entnehmen kann, viele Botaniker irregeleitet."

Es wäre auch leicht, Dutzende von Belegen zusammenzutragen, daß sich erste Forscher und kleinere Geister schon oft dessen bewußt waren, es sei für die Botanik hohe Zeit, endlich die experimentelle Prüfung der dunklen „inneren Triebfeder" der Pflanze vorzunehmen. Aber in Angriff genommen wurde diese Arbeit noch niemals! Nie wurde noch versucht, die Methodik solcher Prüfung als Grundlage einer neuen Erweiterung unserer Erfahrung zu schaffen.

Damit ist der eigentliche Zweck des vorliegenden Buches ausgesprochen. Es will ein Führer zu neuen Gesichtspunkten der Botanik sein, indem es untersucht, ob diese unkritisch und durch der Psychologie entlehnte Beiworte charakterisierte Reaktionsfähigkeit der Pflanze wirklich nach psychischer Gesetzmäßigkeit wirksam ist.

III. Die Annahme einer Pflanzenpsyche als Arbeitshypothese.

Wissenschaft kann, wenn sie neue Zugänge zur Natur sucht, nie anders handeln, als daß sie auf Grund der ihr unerklärlichen Erscheinungen eine Arbeitshypothese schafft. Als solche stellen wir unsere Ansicht von der Psyche der Pflanzen auf.

Bevor sie jedoch zur experimentellen Analyse der dunklen „inneren Ursachen" verwendet werden darf, muß sie sich der Prüfung auf ihre methodologische Zulässigkeit unterziehen.

Worauf beruht sie? Ich habe das in den verschiedensten Vorarbeiten[1]) bereits des öfteren auseinandergesetzt, muß es aber hier, wenn auch nur in Kürze, wiederholen. Wem dies lücken-

[1]) R. H. Francé, Das Leben der Pflanze. Bd. II. Die seelische Energie der Pflanzen, S. 406—453. — R. Francé, Grundriss einer Pflanzenpsychologie, als neuer Disziplin induktiver Naturwissenschaft (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre. 1907). — R. H. Francé, Die Lichtsinnesorgane der Algen. Stuttgart 1908.

haft erscheint, den verweise ich auf meine soeben genannten Schriften, deren Kenntnis ich voraussetzen muß.

Unsere Arbeitshypothese beruht vor allem auf dem Kontinuitätsargument. Sie steht und fällt mit der Entwicklungslehre. Die Pflanze stammt von denselben Urwesen ab, aus denen sich auch der Mensch entwickelt hat. Solange dies nicht als erwiesen galt, waren alle jene Botaniker entschuldigt, die sich der Pflanzenpsychologie nicht bedienen wollten. Aber die Entwicklungslehre zieht diese Folgerung nun so zwingend nach sich, daß sich z. B. bereits ihr erster Verfechter, Ernst Haeckel, gezwungen sah, eine Zellseele und Pflanzenseele anzunehmen, trotzdem er vollständiger Mechanist, daher Gegner jeder Psychologie ist, weshalb sich diese Pflanzenseele auch in seinem Lehrgebäude fremdartig genug (eben nur als Accessorium des Entwicklungsgedankens) ausnimmt und durch ihn als jeder Funktion bar hingestellt wird.

Zweitens beruht die pflanzenpsychologische Hypothese auf dem Analogieschluß.

Der Wert des Analogieschlusses für die Erfahrungswissenschaften wird neuerdings von mancher Seite geflissentlich herabgesetzt, angesichts der außerordentlichen Tragweite vergleichend biologischer Betrachtungsweise, die allerdings liebgewohnte Anschauungen umzudenken gebietet. Demgegenüber hat man wiederholt das Bedürfnis gefühlt, wieder die verdunkelte Einsicht in die Unentbehrlichkeit des Analogieschlusses für die Naturforschung aufzuhellen. Wahrhaft goldene Worte spricht hierüber neuestens R. Semon[1]), die an dieser Stelle alles sagen, was hier zu betonen ist. Es heißt bei ihm: „Wir haben von der Tatsache auszugehen, daß jeder Schluß, der uns wirklich etwas Neues sagt, der unserer Erkenntnis etwas zuerobert, ein Analogieschluß ist. Alles, was man als notwendige Schlüsse bezeichnet, alle Deduktionen, die mathematischen Schlüsse etc. sind nur Umformungen dessen, was bereits in den Voraussetzungen enthalten ist. Sie sagen uns faktisch nichts Neues. Neues sagt uns nur die Erfahrung, und alles, was diese uns lehrt, lehrt sie uns auf dem Wege des Analogieschlusses. Aus dieser Quelle stammen alle unsere Raum- und Zeitvorstellungen, die mathematischen „Grundsätze" sowohl wie die physikalischen Fundamentalsätze. Daß ein Stein, den

[1]) R. Semon, Die Mneme. II. Aufl. Leipzig 1908. S. 89.

wir in die Luft werfen, zur Erde fallen wird, wissen wir einzig und allein per analogiam. Denn die Kenntnis vom Vorhandensein der Schwerkraft oder Distanzenergie ist für den menschlichen Geist nichts primär Gegebenes. Sie ist nur das Ergebnis einer großen Menge analoger Erfahrungen, ein großer zusammenfassender Analogieschluß. Ebenso verhält es sich mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie, kurz mit jeder naturwissenschaftlichen Erkenntnis.

Nun können wir die Vorgänge, die sich als Objekte dem menschlichen Schlußvermögen darbieten, in zwei Gruppen einteilen: in solche, die sich wiederholen (oder wiederholen lassen), und solche, die nur einmal auftreten und nicht wiederholbar sind.

Nur die wiederholbaren sind streng genommen einer experimentellen Prüfung zugänglich. Die Fallgesetze werden uns fort und fort durch neue Erfahrungen bestätigt. Ich kann die Voraussetzungen und Bedingungen der sie beweisenden Experimente nach allen Richtungen hin variieren: stets ergibt sich dasselbe Resultat. Schlüsse, die derart fort und fort durch neue unmittelbare Erfahrungen bestätigt werden, erlangen für uns den Charakter nicht der Wahrscheinlichkeit, sondern der Unumstößlichkeit."

Auf dieser Basis ruht auch die von uns aufgestellte Hypothese so sicher, daß kein Zweifel an ihrer wissenschaftlichen Zulässigkeit mehr möglich ist. Denn die Entwicklungslehre übt auf den Botaniker geradezu den logischen Zwang aus, psychisches Wirken im Pflanzenleben zu suchen. Nur über dessen Grad gewährt sie keinerlei Anhaltspunkt. Der wird vielmehr bestimmt durch die Analogien zwischen dem Verhalten von Pflanze, Tier und Mensch bei variierten Experimenten.

Solche Analogien sind in jüngster Zeit außergewöhnlich augenfällig geworden durch Entdeckung einer Reizleitung im Pflanzenorganismus, durch Entdeckung von Reizaufnahmevorrichtungen, die mit den tierischen Sinnesorganen teilweise bis in die geringfügigsten Einzelheiten übereinstimmen, und letztlich durch die Entdeckung, daß aus der menschlichen Psychologie bekannte Gesetzmäßigkeiten auch für die Pflanze gültig sind, so namentlich das Fechner-Webersche und das Summations-Gesetz. Nimmt man hinzu, daß der ganze Aufbau der Pflanze sowie ihre Tätigkeit durchgängig bestimmt wird von einer ähnlichen Zweckmäßigkeit, wie sie uns aus eigener Tätigkeit wohlbekannt und geradezu zum

Kriterium psychischen Wirkens geworden ist, so ist auch der Schluß unanfechtbar, daß genug wesentliche Analogien zwischen Bau und bewußter Seelentätigkeit des Menschen und den Erscheinungen des pflanzlichen Körpers und Lebens bekannt sind, um die logische Forderung der Entwicklungslehre, daß in der Pflanze psychisches Wirken da sein müsse, mit Tatsachen belegen zu können.

Man wird jederzeit in der Existenz von Sinnesorganen im Pflanzenkörper die beredtesten Anzeichen für Empfindung der Pflanze erblicken, denn ein Sinnesorgan, das nicht Empfindungen vermittelt, ist sinnlos. Das gehört zur elementarsten Logik wissenschaftlichen Denkens.

Es könnten eher Zweifel verlautbaren, ob man wirklich ein Recht hat, bei Pflanzen von Sinnesorganen zu sprechen. Wenn nun auch bei strengster Kritik nicht behauptet werden kann, daß die Behauptungen der Statozystentheorie von Haberlandt und Němec (bzw. auch Noll, da dieser sie schon 1892 als Versuchshypothese aufstellte) bereits über alle Anfechtungen erhaben seien, so muß man jedenfalls zugestehen, daß die Tatsache einer Graviperzeption der Pflanze (um mich des für diese Sachlage geschaffenen Ausdruckes von Fr. Darwin zu bedienen)[1]) außer jedem Zweifel steht und ihr vermittelndes Organ haben muß, wenn das auch meiner Meinung nach nicht immer freibewegliche Stärkekörner, Kieselkörper oder Kalkoxalatkristalle sind. Wir können die Frage der Sinnesorgane für Wahrnehmung der Schwerkraftreize als noch nicht entschieden ganz aus dem Beweismaterial ausscheiden und dennoch unsere Behauptungen mehr als genügend begründen.

Denn die Tastsinnesorgane, die pflanzlichen Fühlhaare, Fühlborsten und Fühlpapillen bieten teilweise bis in die geringfügigsten Einzelheiten eine so vollkommene Übereinstimmung mit den analogen Organen der Tiere, daß kein Zweifel an ihrer Sinnesorgantätigkeit möglich ist. Die Vergleiche, die Haberlandt in seinem ersten größeren Werke[2]) über diesen Gegenstand anstellt, werden jeden Biologen überzeugen. Und wenn irgendein Zweifel bleiben sollte, so wird er völlig zerstreut durch vergleichende Betrachtung

[1]) Vgl. Fr. Darwin, On the Perception of the Force of Gravity by Plants. (Report of the British Assoc. f. the Advancement of Science 1904, S. 2.)

[2]) G. Haberlandt, Sinnesorgane im Pflanzenreich zur Perzeption mechanischer Reize. Leipzig 1901.

der Lichtsinnesorgane der Tiere und Pflanzen. Wenn *Impatiens Mariannae* und *Fittonia Verschaffelti* in dem Sinnesepithel ihrer sehr lichtempfindlichen Blätter große Zellen ausbildeten, die eine glasklare Linsenzelle aufsitzen haben (siehe Abb. 1), wenn es H. Wager sogar gelingt, photographisch nachzuweisen, daß das Sinnesepithel von *Tradescantia*blättern auf seinem plasmatischen Hintergrund ganz ähnliche Bilder entwirft wie das Facettenauge einer Fliege (siehe Abb. 2—4) und schließlich, wenn wir uns jederzeit mit Leichtigkeit davon überzeugen können, daß ein derartig mit Sinneszellen tapeziertes euphotometrisches Blatt auf Lichtreize hin seine Stellung dadurch ändert, daß im Blattstiel ein zielstrebig gelenktes Wachstum einsetzt, das die Blattscheibe in günstige Beleuchtung rückt — dann muß jeder Einwand verstummen, der sich bei Unkenntnis der botanischen Verhältnisse namentlich aus Zoologenkreisen in letzter Zeit gegen den Begriff pflanzlicher Sinnesorgane erhoben hat.

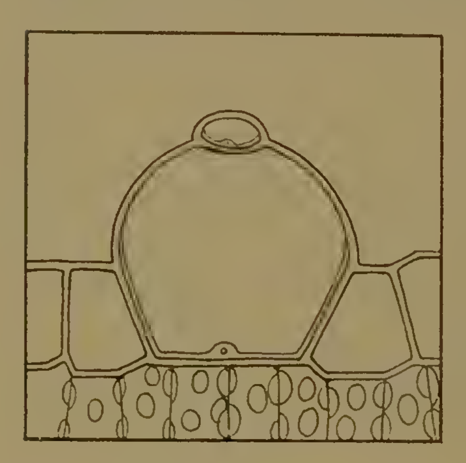


Abb. 1.
Zweizelliges Lichtsinnesorgan mit Linse aus der Blattepidermis von *Fittonia*.
(Nach Haberlandt.)

Die Lichtsinnesorgane der Algen sind, wie meine älteren und neueren darauf gerichteten Untersuchungen[1]) ergeben haben, sogar so übereinstimmend mit den Ozellen niederer und höherer Tiere (nämlich Protozoen, Strudelwürmer, Rädertiere und Krebse) gebaut, daß man

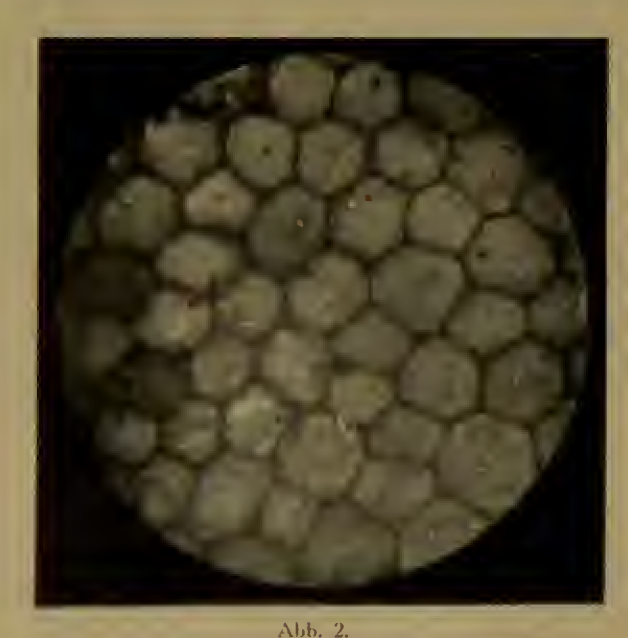


Abb. 2.
Epidermiszellen von *Tradescantia*.
(Nach Harold Wager, aus der „Illustrated London News".)

[1]) R. Francé, Zur Morphologie und Physiologie der Stigmata der Mastigophoren (Zeitschrift f. wiss. Zoologie, 1893) und R. H. Francé, Die Lichtsinnesorgane der Algen. Stuttgart 1908.



Abb. 3.
Aufnahme eines Porträts durch die Epidermiszellen.
(Nach Harold Wager, aus der „Illustrated London News".)

an ihnen Linsen, Farbstoffschicht und eine den Ganglien der Tiere analoge Plasmamasse als eigentliche Perzeptionsstelle unterscheiden und experimentell auf ihre Funktion prüfen kann. Wir kennen Algen, bei denen ein Analogon der tierischen Innervation dadurch gegeben ist, daß ihr „Kinoplasma" sowohl mit dem Lichtsinnesorgan als auch mit dem durch dessen Wahrnehmungen in seiner Bewegung gelenkten Bewegungsorgan (der Geißel) verbunden ist. Und indem ich in der obenerwähnten Studie zeigte, daß die Bewegungen der Alge nicht von der Beleuchtung im allgemeinen, sondern den individuellen Lichtwahrnehmungen der betreffenden Pflanze dermaßen gelenkt werden, daß sie Suchbewegungen ausführt, vor zu grellem Licht ausweicht und umkehrt, glaube ich die Analogie zwischen tierischem und pflanzlichem Sinnesleben zu einer so vollkommenen gestaltet zu haben, daß man fortan nur noch bei Unkenntnis der Naturtatsachen der Pflanze Empfindung als Motiv ihrer von Bewegungswahl zeugenden Handlungen absprechen kann.

Da wir hier nicht ein Handbuch der Pflanzenpsychologie zu bieten beabsichtigen, mögen diese Hinweise genügen. Es

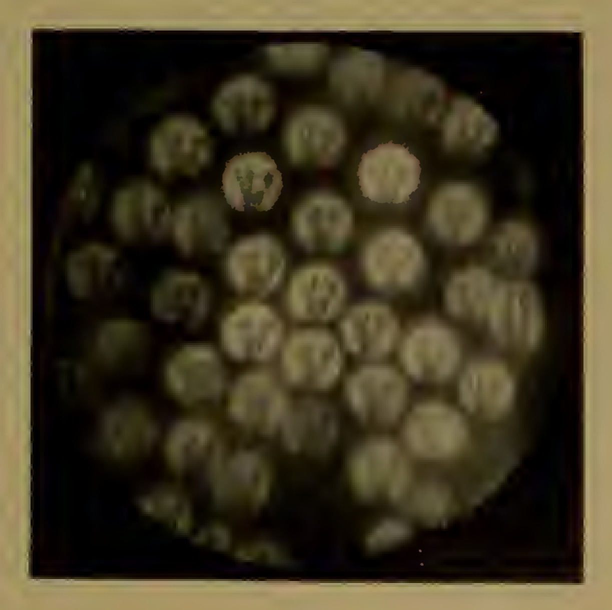


Abb. 4.
Aufnahme von Tulpen durch die Epidermiszellen.
(Nach Harold Wager, aus der „Illustrated London News".)

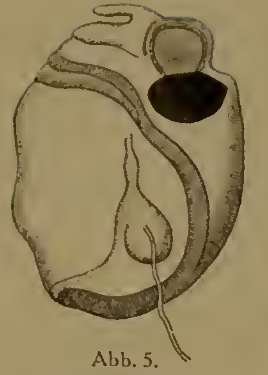


Abb. 5.
Lichtsinnesorgan von *Pouchetia*. (Nach Schütt.)

wird aber nicht schaden, anzudeuten, daß das Vorgebrachte nur ein Bruchteil des Beweismaterials ist.

Es ergab sich schon aus ihm mit Sicherheit, daß auch der Pflanze Reizleitung nicht abgeht, weil diese an sich bereits durch das Vorhandensein lokalisierter Perzeptionsorgane bewiesen ist. Es ist daher überflüssig, noch besonders an die allbekannten Tatsachen der Reizleitung bei den Sinnespflanzen und insektenfressenden Pflanzen zu erinnern. Nicht überflüssig dagegen erscheint es, ausdrücklich hervorzuheben, daß die Tatsache der Reizleitung ganz unabhängig ist von dem Streite über die Němecsche Entdeckung besonderer, temporärer Reizleitungsfibrillen. Sie würde sogar auch dann unanfechtbar sein, wenn wir es durch die Entdeckung der Plasmodesmen als allgemein vorhandener Zellverbindung nicht längst verstehen gelernt hätten, warum die Pflanze nicht zur Leitung ihrer Erregungen besonderer Nerven bedarf. Immerhin fällt es schwer in die Wagschale, daß die Untersuchungen von Fenner[1]) im Blatt von *Pinguicula* besondere Leitungsdrähte (Abb. 6) aufgedeckt haben, welche die schleimabsondernden Drüsen mit den Verdauungsdrüsen verbinden, weil so bewiesen ist, daß (wie auch Tischler bezüglich der Statolithen gezeigt hat) es der Pflanze potentiell durchaus möglich ist, ein Analogon der Nerven hervorzubringen, wenn Sonderbedürfnisse danach an sie herantreten.

Das Gesagte beweist aber auch, daß die Pflanze ihre Empfindungen in jenes Geschehen von logischem Gehalt umzusetzen vermag, das der psychophilosophische Sprachgebrauch als Handlung bezeichnet.

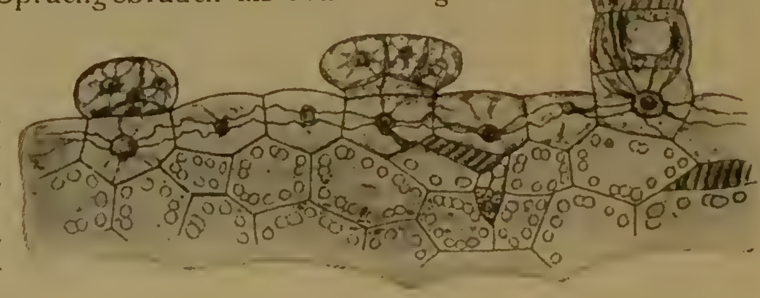


Abb. 6.
Reizleitende Fibrillen zwischen den in korrelativer Funktion stehenden Klebe- und Verdauungsdrüsen von *Pinguicula*. (Nach Fenner.)

[1]) C. Fenner, Beiträge zur Kenntnis der Anatomie, Entwicklungsgeschichte und Biologie d. Laubblätter und Drüsen einiger Insektivoren (Flora 1904).

Wenn als Kriterium der Handlung (mit Driesch) unzweifelhaft ein „unbestimmt variierbares teleologisches Sichentsprechen von individualisiertem Reiz und individualisiertem Effekt“ angesehen werden kann, so kann die Fähigkeit zu Handlungen nicht ausschließlich ein Vorrecht des Menschen und der höheren Tiere sein, da ein Blatt, das, in eine neue Lage zum Licht gebracht, sich von neuem optimal einzustellen weiß, vollauf diese Bedingungen einer Handlung erfüllt hat. Dem individuell variierten Reiz folgte ein Effekt, der ebenso individuell wie logisch darauf antwortete, wobei das Wesen des Logischen hier im Lebenerhaltenden liegt, was gewöhnlich, wenn auch nicht immer korrekt, als das Zweckmäßige bezeichnet wird.

Wenn nun solche logisch ablaufende Reizantworten, vermischt mit spontanen Handlungen, im Pflanzenleben so häufig auftreten, daß ich in Bd. II—III meines Hauptwerkes (Das Leben der Pflanze) allein über 500 Beispiele derartiger „Abläufe nach psychischer Gesetzmäßigkeit“ aufzeigen konnte, so ist wohl zur Genüge dargetan, daß, wenn wir dies alles zusammenfassen, die Annahme, wonaeh das Reaktionsvermögen der Pflanze psyehiseher Natur sei, als Arbeitshypothese wohl begründet ist.

In diesem Sinne vertrete ich[1]) eine „Pflanzenpsychologie“ in den verschiedensten Schriften seit dem Jahre 1904 mit der Genugtuung, daß, teils durch diese Gründe überzeugt, teils spontan auf eigenem Wege zu gleichem Resultat gelangt, sich bereits 29 Forscher zum Ausbau dieser Lehre gefunden haben, also gegenwärtig eine ansehnliche pflanzenpsychologische Schule existiert, deren Arbeiten im Anhang dieser Studie zusammengestellt sind.

Diese Pflanzenpsychologie schreitet auf verschiedenen Wegen zu dem gleichen Ziel. Man kann im allgemeinen die Versuche nach ihrer Methodik und ihrem Ausgangspunkt in vier Reihen bringen, die sich als entwicklungstheoretische, spekulative, teleologische und physiologische Pflanzenpsychologie unterscheiden lassen.

Als Hauptvertreter der ersten Richtung kann E. Haeekel gelten. Ihm ist Zellen- und Pflanzenpsychologie nur ein logisches Postulat, errichtet durch Nötigung der Konsequenzen der Entwicklungslehre und dazu dienlich, um das Seelische des Menschen in sein monistisches Weltbild einfügen zu können. Gemäß seiner

[1]) In allgemeinerer Fassung sogar seit dem Jahre 1900. (Vgl. Der Wert der Wissenschaft. Dresden 1900.)

materialistischen Grundüberzeugung ist ihm das Psychische der Pflanze allerdings nur ein Epiphänomen ihres Lebensgetriebes, das seiner Ansicht nach ebenso abschnurren würde, wie wir es kennen, ohne psychische Kräfte zu bedürfen.[1]) In seinem Sinne aufgefasst, wäre das Studium der Pflanzenpsychologie allerdings unfruchtbar und würde nie zu irgendwelchen Erklärungswerten führen.

In ganz ähnlicher Weise faßt auch, als Übergang zu der Richtung, die ich als spekulative Pflanzenpsychologie bezeichnen möchte, K. Lasswitz als Erneuerer Fechnerscher Gedanken die Bedeutung der Pflanzenpsyche und schaltet sie dadurch geradezu aus der Naturforschung aus.[2]) Dieser Richtung gegenüber haben Verwahrungen wie die von Detto und neueren Botanikern allerdings recht, die durch Einführung spekulativ metaphysischer Psychologie in die Botanik jene Trübung der Erkenntnisse befürchten, welche die ganze spekulative Philosophie in Verruf gebracht hat. Von diesem Vorwurf sind auch die anderen Philosophen, namentlich E. v. Hartmann, nicht ganz freizusprechen,[3]) wenn er auch sonst, gelenkt von erstaunlichen biologischen Kenntnissen, den richtigen Weg betreten und die psychophysische Kausalität der Pflanze durchschaut hat.

Diesen zwei Denkrichtungen steht die teleologische und physiologische Pflanzenpsychologie, mit ihnen zwar durch Übergänge verbunden, aber in ihren Endgliedern doch geradezu schroff gegenüber. Schon dadurch, daß sie darauf verzichtet, a priori die Frage der Pflanzenpsychologie zur Weltanschauungsfrage zu machen, sie gewissermaßen vom Parteistandpunkt zu beurteilen, zerschneidet sie das Tischtuch zwischen sich und der spekulativen Philosophie. Für die physiologische Pflanzenseelenkunde handelt es sich darum, analytisch und nicht synthetisch vorzugehen. Sie bescheidet sich damit, das große Unbekannte etwas weniger unbekannt zu machen, die Ursache der Anpassungen und der physiologischen Zwecktätigkeit bloßzulegen, indem sie deren Gesetzmäßigkeit als psychische Gesetze enthüllt. Sie trägt hiermit allerdings dazu bei, auch die Merkmale des Psychischen schärfer zu fassen und die Psyche natur-

[1]) Das steht auch, unausgesprochen wenigstens, hinter den älteren Auffassungen von Haberlandt und Pfeffer.

[2]) K. Lasswitz, Seelen und Ziele 1908. Vgl. meine Besprechung in Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908.

[3]) Vgl. W. v. Schnehen, E. v. Hartmann und die Pflanzenpsychologie. (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908.)

wissenschaftlicher Analyse von neuer Seite aus zugänglich zu machen; aber es ist nicht ihre Aufgabe, das Wesen der Psyche in das Weltbild einzuordnen. Sie bedient sich der Psychologie und Philosophie als Gehilfen, bleibt aber durchaus Botanik und induktive Naturwissenschaft.

Als Mittler zwischen dieser Auffassung und jener der spekulativen Philosophie steht jene Richtung da, für die ich das Wort: teleologische Pflanzenpsychologie prägen möchte. Sie schöpft ihre Beweise aus der Teleologie des pflanzlichen Lebensgeschehens, hat in Delpino und Nägeli schon vor langer Zeit ihre bedeutendsten Vertreter in der Botanik hervorgebracht, aber sich erst neuestens ihr klassisches Werk in A. Paulys genialem Entwurf einer psychophysischen Teleologie geschaffen.[1]) Sie bedient sich zwar der physiologischen Analyse, benützt sie aber nur als Mittel zu philosophischen Zwecken und projiziert ihre Ergebnisse in das Universum.

Die physiologische Pflanzenpsychologie, zu der wir uns bekennen, vermag diesem Flug nicht zu folgen. Sie zieht es vor, Schritt für Schritt auf analytischem Wege die in ihrer Hypothese aufgestellte Lösung des Problems der Pflanzenphysiologie zu sichern und jede Spekulation (woran das Paulysche Buch überreich ist) zu meiden, womit sie sich jedenfalls auch keinen Weg verschließt.

Den Übergang von Pauly zu ihr stellt A. Wagner dar mit seinem Werk über den „neuen Kurs in der Biologie". Die letzt verbleibende Gruppe trennt nur noch der Forschungsgegenstand, nicht aber der Gesichtspunkt der Beurteilung. Haberlandt und Fr. Darwin schließen von den sinnesphysiologischen Analogien aus auf das Psychische, wie der erstgenannte in einer jüngst erschienenen Rede[2]) öffentlich erklärte. Ich selbst vermag mich bei ehrlicher Selbstkritik nicht von einem gewissen Eklektizismus loszusprechen, da ich in meinem „Leben der Pflanze" seit 1904 vorwiegend aus den teleologischen Analogien Rückschlüsse wagte, in meinen neueren Studien über die vegetabile Reizphysiologie[3]) aber als den mehr Sicherheit verheißenden Weg den einer experimentellen, sinnesphysiologischen Analyse und vergleichenden physiologischen Betrachtung versuchte.

[1]) A. Pauly, Darwinismus und Lamarckismus. München 1905. 8°.

[2]) G. Haberlandt, Über Reizbarkeit und Sinnesleben der Pflanzen. Wien 1908.

[3]) R. H. Francé, Experimentelle Untersuchungen über Reizbewegungen und Lichts. d. Algen; und: Die Reizverwertungen von Parnassia. (Beide in Zeitschr. f. d. Ausb. d. Entwicklungslehre 1908/1909.

Aus dieser Einsicht heraus reifte der Plan des vorliegenden Werkes, das zunächst eine allgemeine, nunmehr abgeschlossene Orientierung bieten soll über das Problem und die Methoden der Pflanzenpsychologen. Die größte Überzeugungskraft aber mißt es dem bei, wenn es nun aus dem Gesamtgebiet der vegetabilen Physiologie Einsichten in typische Geschehensabläufe beibringt, die methodologisch einwandfrei erforscht sind und völlige Analogien zu psychischen Gesetzmäßigkeiten darstellen.

Mit anderen Worten: unsere Aufgabe ist erledigt mit der nun folgenden Vorlage von Fällen aus dem experimentellen Beweismaterial, das die pflanzenpsychologische Arbeitshypothese von bloßer Wahrscheinlichkeit bis zur Unumstößlichkeit im Wert erhöht.

IV. Das experimentelle Beweismaterial der Pflanzenpsychologie.

Ich glaube klar gezeigt zu haben, auf welche Punkte sich eine Kritik der pflanzenpsychologischen Arbeitshypothese zu stürzen hat. Sie kann nicht leugnen, daß die bisher übliche Erklärungsweise versagt hat, angesichts einer langen Reihe von dunkel gelassenen Tatsachen; sie kann es nicht bestreiten, daß die Führer der botanischen Forschung diese Dunkelheit durch Einführung eines Faktors zu erhellen suchten, dem sie Empfindung, Streben, Zwecktätigkeit, also durchaus psychische Eigenschaften, beilegen mußten, wenn sie ihn nicht bloß als „innere Kraft“, Reaktionsvermögen oder „Selbstregulation“ nichtssagend umschrieben haben. Die schärfste Kritik kann nicht bezweifeln, daß der Fortschritt der Botanik davon abhängt, diesen dunklen Komplex mit naturwissenschaftlicher Methodik zu analysieren. Sie muß zugeben, daß der Versuch, dies mittels einer psychologischen Arbeitshypothese zu vollbringen, in wissenschaftlicher Form nur die unkritischen Versuche wiederholt, mit denen sich Botanik bisher dieses Hindernis aus dem Wege räumen wollte. Auch der strengste Kritiker wird bestätigen, daß die Grundlagen dieser Hypothese unanfechtbar sind. Der Analogieschluß ist das Hauptmittel naturwissenschaftlicher Forschung; die Entwicklungslehre ist so gesichert, daß ihre logische Konsequenz, das Kontinuitätsargument, die Forscher geradezu nötigt, in dieser Richtung nach empirischen Belegen zu suchen.

Nichts kann also an dem Gebäude unserer Folgerungen für unhaltbar erklärt werden. Nur folgendes ist daran noch einem Zweifel zugängig. Man kann es bezweifeln, ob die von dieser Hypothese beigebrachten „analogen Fälle“ 1. wirklich einwandfrei untersucht sind, 2. wirklich nach psychischer Analogie verlaufen, 3. wirklich nur eindeutig und mechanisch nicht analysierbar sind. Und 4.: man kann es bezweifeln, ob durch die Aufzeigung psychischer Analoga wirkliche Erklärungswerte und auch Forschungsanregungen gewonnen werden.

Es ist jedoch klar, daß auch nur ein Fall, der so gut durchschaut ist, daß er diese letzten Zweifelmöglichkeiten beseitigt, genügt, um die ganze Umgestaltung der Botanik, die in der Annahme unseres Erklärungsmittels liegt, herbeizuführen. Darum beschränken wir uns hier auf eine Auswahl aus den überreichlich vorliegenden Beweismitteln, insgesamt auf die kritische Darstellung von etwa sechzig der interessantesten Lebenserscheinungen der Pflanze, von denen ein Dutzend in der oben angegebenen strengsten Weise analysiert werden soll.

Der Übersichtlichkeit halber gruppieren wir unser Beweismaterial in Reaktionsbewegungen, Regulationen, Regenerationen und sinnesphysiologische Erscheinungen, wobei wir uns bewußt sind, daß die Grenzen zwischen diesen Kategorien fließen, daß Reizhandlungen auch mit der Sinnesphysiologie verknüpft sind und die Wiederherstellung verstümmelter Pflanzen auch nur eine Regulation, d. h. eine Ausgleichung zur Wiedererlangung des gestörten energetischen Gleichgewichtes ist.

1. Reizhandlungen der Pflanzen.

Ein Lebewesen vermag den Einflüssen der Umwelt in zweifacher Weise zu begegnen: durch Bewegungen, die seine Lage ändern, und durch innere Umformungen, chemischer oder physikalischer, d. h. formaler Art. Demgemäß sind auch die Reizhandlungen der Pflanzen in zwei Gruppen zu zerlegen.

Eine geradezu klassische Art von Reizbewegungen ist jederzeit mit Leichtigkeit an einzelligen Algen zu beobachten, über die ich in jüngster Zeit eine Sonderuntersuchung veröffentlichte.[1]) *Euglena viridis* (Abb. 7) und *Polytoma Uvella* sind beide dadurch aus-

[1]) R. H. Francé, Die Lichtsinnesorgane. 1908.

gezeichnet, daß sie den größeren Teil ihres Lebens in freibeweglichem Zustande verbringen und namentlich auf Lichtreize mit ausgesprochenen Orientierungsbewegungen antworten. Namentlich *Euglena* ist in dieser Hinsicht eine der interessantesten aller Pflanzen. Gleichwie die Desmidiazeen und Schwärmsporen höherer Algen oder zahlreiche Blütenpflanzen, vollführen die spindelförmigen, formveränderlichen Zellen, die unter diesem Namen verstanden werden, Richtungsbewegungen. Sie suchen das durch die Geißel als solches bezeichnete Vorderende dem Lichte zuzuwenden, solange die Lichtstärke nicht ein Maß übersteigt, das die Pflanze schädigt.[1]) Demgemäß schwimmen sie ziemlich geradlinig auf einfallendes Licht zu, wissen aber nach Überschreitung ihres Lichtoptimums kehrtzumachen und das Licht zu fliehen. Durch geeignete Versuchsordnung konnte beobachtet werden, daß die Pflanze im Dunkeln, oft die Geißelbewegung verlangsamend, krümmende, suchende Bewegungen ausführt, die sofort wieder in die normale Bewegungsart übergehen, wenn eine besser beleuchtete Stelle erreicht wurde.[2]) Die Pflanze ist hierbei nicht gleichmäßig für das Licht reizbar, sondern nimmt die Richtung der Lichtstrahlen nur an einer eng-



Abb. 7.
Optischer Längsschnitt durch *Euglena viridis*, mit dem Lichtsinnesorgan, das durch Kinoplasma mit dem Basalkörnchen der Geißel und durch plasmatische Stränge mit dem Zellkern verbunden ist. (Nach Francé, Lichtsinnesorgane der Algen.)

[1]) Lichtstarre in grellem Sonnenlicht.

[2]) E. Pringsheim (Über die Herstellung von Gelbfiltern, etc. Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch. 1908) veröffentlicht soeben eine Nachuntersuchung meiner Ergebnisse, mit anderer Methodik. Auch er findet im wesentlichen dasselbe, nur deutet er die Bewegungen anders. Die Suchbewegungen sind nach ihm aus einer Schreckbewegung und darauf folgenden topischen Richtungsbewegung zusammengesetzt. Also sei „psychisch bewußte Sinnestätigkeit" ausgeschlossen. Hierzu möchte ich bemerken, daß ich erstens von freikombinierten Reflexen und nicht im geringsten von bewußter Tätigkeit von Euglena gesprochen habe (die ewige Verwechslung: Psychisches könne nur bewußt sein!); zweitens, daß Pringsheim ja alles zugibt, denn aus einem abwechselnden Zurückweichen (= sog. Schreckbewegung) vor Dunkelheit und nach dem Lichte Streben (= topische Richtungsbewegungen) besteht doch alles Suchen, und wer hell und dunkel unterscheidet und nach etwas strebt, hat doch Psychisches, gleichviel, wie man das nennt.

umschriebenen Stelle, namentlich zwischen dem Ursprungsorte der Geißel und einer roten Pigmentscheibe, auf. Hier befindet sich ein hochdifferenziertes Lichtsinnesorgan, das durch plasmatische Stränge sowohl mit dem Zellkern wie mit der Geißel verbunden ist.

Das ist, auf das Wesentliche eingeengt, der Tatbestand meiner Untersuchungen. Sind diese Bewegungen mechanisch zu erklären? Offenbar ist die Euglenaalge zu einer Bewegungswahl befähigt, die kein Analogon in der Welt der physikalischen Gesetze hat. Daß die Bewegungen zweckmäßig sind, schließt zwar durchaus nicht von vornherein eine mechanistische Deutung aus. Es ist nur eine ganz falsche, leider in der Wissenschaft weit verbreitete Ansicht, daß das Teleologische überhaupt als solches mit rein mechanischem Funktionieren stets ohne weiteres vereinbar sei. Dieser Ansicht ist die gesamte Mechanistik in der Biologie. Sie macht sich jedoch hierbei nicht klar, daß es durchaus nicht bloß eine Teleologie als Maschinenbedingung, d. h. als geschaffene Zwecktätigkeit, gibt, sondern auch eine schaffende Zwecktätigkeit. Die Mechanistik geht ausschließlich von dem Bilde der Maschine aus, in die wir die strukturellen Bedingungen einer automatisch funktionierenden Zwecktätigkeit hineingelegt haben. Eine solche findet sich ja wirklich in zahllosen Einrichtungen des Pflanzenkörpers. Wenn die Schoten der Kreuzblütler bei der Reife klappig aufspringen, wodurch die Samen frei werden, oder wenn der Mundbesatz der Laubmoossporenkapseln so eingerichtet ist, daß sich die Zähne bei trockenem Wetter herausschlagen, wodurch die Sporenverbreitung ungehindert vor sich gehen kann, so liegt hier eine durch Spannungsdifferenzen der vertrocknenden Schotenwand und Hygroskopizität der Peristomzähne, also rein physikalisch zustande gekommene zweckmäßige Erscheinung vor.[1]) Wer aber diesen Fall dann auf das ganze Pflanzenleben überträgt, begeht einen schweren Fehler, da noch viel mehr Erfahrungen darüber vorliegen, daß die Pflanze auch jene andere Art von Zweckmäßigkeit in sich birgt, welche die Mechanistik stets vergißt, und die nicht strukturell bedingt und automatisch, sondern kombinatorisch, individuell variabel und durch frühere Erfahrungen mitbestimmt ist.

Nicht ob ein Vorgang im Pflanzenkörper für die Erhaltung zweckmäßig abläuft, ist also das Kriterium,

[1]) Tiefere Betrachtung findet natürlich auch hier die autonome Zwecktätigkeit der Pflanze.

das psychische Analogien erlaubt, sondern, daß seine Zweckmäßigkeit durch Wahlfähigkeit unter mehreren strukturell erlaubten Möglichkeiten zustande kam. Und dieser Tatbestand liegt im Falle der von uns als Beispiel gewählten *Euglenaalge* vor. Daß diese Pflanze vom Lichte angezogen wird, könnte ein in sie gelegter Mechanismus auch bewirken, ebenso noch zur Not, daß die „Anziehungskraft" der auslösenden Bedingung ihre Grenze hat und dann ins Gegenteil umschlägt. Man kann sich eine solche Maschine noch immer vorstellen, wobei zwar alle Mechanisten dem Vorwurf unwissenschaftlicher Metaphysik nicht entgehen können, da ihre Anschauung ohne einen Maschinenbauer der Pflanzen nicht bestehen kann, sie diesen aber der Forschung nicht zugänglich machen können. Jenseits aller Maschinenmöglichkeiten liegt aber die beobachtete Tatsache, daß die Pflanze die Bewegung bei Veränderung der Funktionsbedingungen so ändert, daß sie dadurch die frühere Sachlage wieder herstellt. Suchen kann keine Maschine, also ist dadurch sowohl der Mechanismus wie der Theismus als Erklärungsmittel ausgeschlossen (beide enthalten übrigens dasselbe Erklärungsprinzip eines imaginären Mechanikers, weil der Mechanismus [-Materialismus] nichts anderes als ein nur nicht zu Ende gedachter Theismus ist). Und die Sachlage ist hiermit zugunsten des Psychismus eindeutig geworden.[1]) Es bleibt also nur noch die Frage: Verläuft der Fall von *Euglena* nach psychischen Gesetzmäßigkeiten? Eine Frage, von der alles abhängt, nachdem alle anderen Möglichkeiten einer Erklärung in sich zusammengebrochen sind!

Aber diese Frage läßt sich auf das leichteste beantworten. Wie vollzieht sich typisch seelisches Geschehen beim Menschen? Wenn Wahrnehmungen, die wir mittels unserer Sinnesorgane machen, uns zu einer bestimmten Wahl von Bewegungen veranlassen, um unsere Wahrnehmung zu unserem Vorteil zu verwenden, dann hat unser Körper psychophysisch funktioniert. Sinnesorgane, die den Reiz aufnahmen, eine Reizleitung im Dienste der Umschaltung der Wahrnehmung in Reaktion, Reaktionsbewegungen (man vergesse nicht, daß nicht nur Gehen und Handbewegungen, sondern auch Sprechen „Reaktionsbewegungen" sind) und Be-

[1]) Man hat sich das Armutszeugnis ausgestellt, in solchen Fällen an den „Zufall" als Erklärungsmittel zu appellieren. Zufall bedeutet Unkenntnis der Bedingungen. Damit kann man eine Erklärung verhindern, nicht aber eine geben.

wegungswahl, das waren die wesentlichen Merkmale dieser Funktion. Und was sehen wir an der suchenden *Euglena*? Ein Lichtsinnesorgan, Organe der Reizleitung (zu Zellkern und Geißel), Reaktionsbewegungen und Bewegungswahl. Die Analogie ist vollkommen, und der geforderte Beweis ist auch bei strengster Kritik geglückt.[1])

Man wird in dem gegebenen Fall vielleicht noch einen Einwand erheben. *Euglena* gehört zu den Einzellern, über deren Zugehörigkeit zum Tier- oder Pflanzenreiche noch immer ein leiser Streit nachgrollt. Man hat bis in die neueste Zeit, wenn auch nur ganz vereinzelt, zu dem ganz unglaublichen Auskunftsmittel gegriffen, zu sagen, alle Einzeller, welche durch Bewegungen Empfindung verraten, seien deshalb aus dem Pflanzenreich auszuscheiden. Solche Denkungsart ist ein Nachklang des Linnéschen Zeitalters mit seiner strengen dogmatischen Scheidung von Tieren und Pflanzen. Wir haben uns demgegenüber gar nicht auf den Nachweis einzulassen, warum *Euglena* dem Pflanzenreiche zuzuteilen sei, womit man übrigens nur Gemeinbekanntes wiederholen würde. Es genügt vielmehr darauf hinzuweisen, daß die gleichen Reizverwertungen, wie sie *Euglena* ausführt, auch von der Jauchealge (*Polytoma*), von den Schwärmsporen der verschiedensten Fadenalgen, wie *Ulothrix*, *Oedogonium*, *Cladophora* u. a., bekannt sind. Wer jemals beobachtet hat, wie ungeschickt ein frisch ausschlüpfender *Oedogonium*schwärmer schwimmt, und wie sicher er ausweichen lernt binnen 2—3 Stunden, wird ohne weiteres zugeben, daß auch die Bedingung, an die manche Neurologen, so Bechterew,[2]) die Annahme von Psychischem knüpfen, nämlich „eine individuelle Bewegungswahl auf Grund bestimmter früherer Erfahrungen“, dadurch vollauf erfüllt sei.

Dieselbe Schreckbewegung, durch die *Euglena* auf plötzlich vorüberziehende Schattenstreifen reagiert, hat man an Purpurbakterien ebensogut kennen gelernt wie an Algenschwärmern. H. Molisch schildert dies folgendermaßen:[3]) „Trifft der Schatten ein *Chromatium*, so führt es eine Strecke zurück, dreht sich, an

[1]) Bliebe nur noch der Zweifel an der Richtigkeit meiner Beobachtung. Diesen kann Nachuntersuchung jeden Augenblick beheben, außerdem haben Engelmann, Molisch und E. Pringsheim in älterer und neuerer Zeit dasselbe beobachtet.

[2]) W. v. Bechterew, Psyche und Leben. 2. Aufl. Wiesbaden 1908. S. 69.

[3]) H. Molisch, Die Purpurbakterien. Jena 1907. S. 34.

einem Punkte verharrend, um seine Achse und schwimmt dann in beliebiger Richtung davon. Oder es schießt auf eine plötzliche Abdämpfung des Lichtes hin plötzlich, fast sprunghaft, zurück, taumelt dann wie verwirrt unter langsamer Drehung hin und her und schwimmt dann wieder weiter."

Das ist eine anschauliche Darstellung eines typischen Reflexvorganges, wie er sich neben der Bewegungswahl auch bei *Euglena* findet. Gegenstücke typischer Bewegungswahl aber sind wieder nicht nur von Algenschwärmern, sondern auch von Blütepflanzen schon seit so langen Jahren bekannt, daß es im höchsten Grade verwunderlich ist, daß erst in unseren Tagen daraus die nächstliegenden Folgerungen gezogen werden. Wahrlich ein betrübendes Zeugnis für die einschüchternde Macht herrschender Meinungen! Schon seit Ch. Darwin ist es bekannt, und jederzeit kann man sich neuerdings den Beweis verschaffen, daß die *Drosera*arten koordinierte Bewegungen der Blattstiele ausführen, wenn ein größeres Insekt an den Wimpern eines Blattes hängenblieb, das von einem Blatte allein nicht überwältigt werden kann. Dieser Fall ist in der Natur nicht so selten; Schmetterlinge, Motten, kleine Libellen, sogar Käfer und Asseln werden auf solche Weise festgehalten, namentlich gilt dies für ermattete Tiere dieser Art. Es helfen sich dabei unter Umständen alle Blätter der ganzen Pflanze mit Ausnahme der allerjüngsten aus, und auch die entferntesten beugen sich ganz zielstrebig heran, bis sie die Beute berühren. Es ist nicht nur eine Reizleitung damit bewiesen und nicht nur die Fähigkeit zu „wittern", wie man gesagt hat, sondern vor allem Bewegungswahl. Denn bekanntlich unterbleiben die Bewegungen anderer Blätter, wenn die Beute so klein ist, daß ein Blatt allein sie bewältigen kann.

Bewegungswahl ist es auch, wenn das Filament der Kornblumenblüte sich bei Annäherung einer heißen Nadel zurückzieht. Vor allem aber bietet die Blütenbiologie die überzeugendsten Beispiele einer Wahl der Bewegungen als Antwort auf Reizwahrnehmungen, welche die Beobachtungen an *Euglena* auf das trefflichste als „echt pflanzenhaft" erkennen lassen.

Einen derartigen Fall beschrieb in neuerer Zeit J. Wiesner.[1]) Er sagt bei Darstellung dessen, daß die Blüten dem Lichte gegen-

[1]) J. Wiesner, Die Stellung der Blüten zum Lichte (Biolog. Zentralblatt 1901, S. 803.

über bald aphotometrisch, bald euphotometrisch sind wie die Blätter: „Die dichteren ährenartigen Infloreszenzen (Blütenstände) von *Verbascum nigrum, Thapsus* etc. und anderer auf freiem Standort auftretender Pflanzen werden durch starken negativen Geotropismus in ihrer Lichtstellung erhalten. Werden solche Blütenstände horizontal gelegt, so richten sie sich auf und gewinnen dadurch wieder ihre größte Auffälligkeit.

Solange derartige Infloreszenzen noch Blütenknospen tragen, werden sie sehr leicht und rasch geotropisch aufgerichtet. Sind die Blüten, die an derartigen Infloreszenzen stehen, schon befruchtet, so unterbleibt die Aufrichtung der Infloreszenzenachse. Wenn an dichten ährenförmigen Infloreszenzen ein Teil der Blüten noch unbefruchtet ist, so hebt sich nur jener Teil der Infloreszenzachse, der die unbefruchteten Blüten trägt. Ich habe dies zuerst an *Digitalis*-Arten beobachtet. Indem ich mit zahlreichen anderen Pflanzen derartige Versuche vornahm, gelangte ich zu dem in biologischer Beziehung gleichfalls interessanten Resultate, daß die Aufrichtung aphotometrischer Blütenstände nur dann erfolgt, wenn diese reichlich Blüten tragen und dicht gestellte Blüten enthalten, so daß solche Blütenstände sich augenfällig gestalten. Sind die Infloreszenzen locker und unauffällig, so unterbleibt die geotropische Aufrichtung der Blütenstandsachse. Legt man z. B. den blühenden Stengel von *Prenanthes muralis* horizontal, so richtet er sich selbst dann nicht auf, wenn sämtliche Blüten noch unbefruchtet sind, wohl aber erhebt sich jedes einzelne Blütenköpfchen. Jedes einzelne Blütenköpfchen erreicht dadurch die größte Auffälligkeit. Die Erhebung der Gesamtinfloreszenz unterbleibt, da eine solche Stellung des ganzen Blütenstandes der Pflanze keinen Vorteil bietet."

Wiesner spielt hier selbst, wie es ja gar nicht anders bei solchem Tatbestand möglich ist, auf die freie Bewegungswahl der Pflanzen an. Wenn Pflanzen bei gleichen Bedingungen einmal die Blütenstandsachse, das andere Mal aber nur die Stiele der Blütenköpfchen erheben, wenn sie nur dann eine Handlung vollziehen, wenn es noch „im Interesse" der Pflanze (Schaubarkeit, Befruchtung noch nicht erfolgt) liegt, dann haben sie bewiesen, daß in ihnen ein „Selbst" vorhanden ist, das auf Erfahrungen hin zwischen den Möglichkeiten wählt.

Einer meiner wissenschaftlichen Freunde hat diese Bewegungswahl durch besondere Experimente geprüft. O. Heineck fand,[1]) daß die bekannte Herzblume (*Diclytra spectabilis*) ihre langen Blütenspindeln durch die schweren Blütenknospen im Bogen nach unten krümmt (Abb. 8). Er sagt hierüber: „Infolgedessen kommen die an dem herabhängenden Teil angewachsenen Blüten so dicht aneinander zu stehen, daß sie sich gegenseitig decken und nicht bequem von den Hummeln beflogen werden können. Wie hilft sich nun die Pflanze? Die Spindel wendet sich plötzlich in der Mitte des Bogens schräg nach oben und hebt ihr herabhängendes Vorderende in die Höhe, so daß nun die Blüten nebeneinander hängen und sich nicht mehr decken. Wird die Spindel im Laufe des Sommers noch länger, so wiederholt sich dieser Vorgang bedürfnisgemäß noch einmal.



Abb. 8.
Gamotrope Bewegungen des Blütenstiels von *Diclytra spectabilis*.
(Nach Heineck.)

„Ich band nun zwei Blütenspindeln fest, zog die eine hoch (b auf der Abb.) und die andere tief (a), so daß beide senkrecht standen, und überließ sie sich selbst. Der freie Teil der Spindel wuchs nun sofort wagrecht und verlängerte sich, wodurch die Blüten auseinander kamen und sich nicht deckten. Dabei mußte

[1]) O. Heineck, Experimentelle Beiträge zur pflanzenpsychologischen Hypothese (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908, S. 293).

sich die rechte nach unten und die linke nach oben krümmen, was durch einseitiges Wachstum ja leicht geschehen konnte. Später zeigten sich dann auch noch beim Weiterwachsen die oben beschriebenen spontanen Krümmungen bei denselben.“ Die individualisierte Wahl der Bewegungsrichtung liegt hier so zutage, daß es keiner weiteren Bemerkung darüber bedarf.

Ein zweites, in manchem noch schlagenderes Experiment findet sich an gleicher Stelle dargestellt. Es handelt sich hierbei um die Waldrebe (*Clematis vitalba*, Abb. 9), die bekanntlich sowohl die Stielchen ihrer Fiederblättchen als auch die Hauptblattstiele als Ranken verwendet. Heineck band Pflanzen so fest, daß die Blattstiele zwar die Unterlage berührten, aber als Befestigungswerkzeuge überflüssig waren. Trotzdem alle Voraussetzungen zur Funktion ihrer Tastsinneswerkzeuge gegeben waren, reagierte die Pflanze nicht. Ließ man jedoch die gleichen Stämmchen frei, so daß sie im Winde baumelten, so faßten die Blattstiele zu und fungierten als Ranken.



Abb. 9.
Reizbewegungen der Blattstiele von *Clematis vitalba* L. a_1, a_2, a_3 = Bindestellen. *b* Stellen, an denen sich die Blätter um ihre Stütze schlingen. *Zw* Zweige. *Bl* Blattstiele. (Nach Heineck.)

Da gerade die Bewegungswahl und die Koordination pflanzlicher Bewegungen so vollkommen eindeutig das überzeugendste psychische Analogon darbieten, sei hier noch ein Beispiel hierfür angeführt. *Geranium Robertianum* (Abb. 10), *G. lucidum*, *Stellaria* und andere

Pflanzen sind zu einem höchst eigenartigen Funktionswechsel ihrer Blätter befähigt, wenn ein solcher ihrer Erhaltung dienlich ist. Neger hat darüber vor einigen Jahren berichtet[1]), und dadurch aufmerksam geworden, habe ich seit drei Jahren an *Geranium* eine Fülle von Erfahrungen gesammelt, die jede andere Erklärung ausschließen.



Abb. 10.
Geranium mit stützenden Blattstielen. (Nach der Natur.)

Einer vorbereiteten ausführlichen Veröffentlichung über den Gegenstand vorgreifend, soll hier einiges aus diesem Erfahrungskreis dargestellt werden.

Keimpflanzen der genannten Art, die in Töpfen auf völlig ebenem Boden gezogen werden, strecken die Stiele ihrer sehr lichtempfindlichen Blätter niemals zu Boden. Stülpt man jedoch den Topf so um, daß die Pflanzen vertikal gestellt werden, so beginnt schon nach wenigen Minuten bis einigen Stunden ein Blattstiel sich so herabzusenken, daß er den Boden berührt und dem Pflänzchen Halt verleiht. Dreht man den Topf um 180°, so erhebt sich dieser Blattstiel wieder, und ein entgegengesetzter senkt sich als Stützorgan. Zugleich wachsen aber auch die Wurzeln nach aufwärts, was natürlich mit der geänderten Wasserversorgung im Boden zusammenhängt. Diese Reizverwertungen der Blattstiele sind nur an jungen und lebenskräftigen Pflanzen zu erzielen und erlöschen im Herbst, wenn die Stärkeablagerung im Blattstiel eingestellt wird.

[1]) F. W. Neger, Über Blätter mit der Funktion von Stützorganen. (Flora 1903.)

Nach der Reizbewegung des Blattstieles stellen sich die Blattscheiben neuerdings ein, gehen jedoch rascher als sonst zugrunde. Der Blattstiel fault dabei nur so weit ab, als er keine Stützfunktion hat. Zugleich produziert er regulativ mehr Gerbsäuren als normal und baut sich anatomisch um, durch Vermehrung verdickter Zellen, also im Sinne vermehrter Tragfähigkeit. Bei zunehmender Belaubung der Pflanze senken sich spontan auch auf ebenem Standort allseitig mehrere ältere Blattstiele zu Boden und bilden Stützen (Abb. 10), deren Spreite wegfault, und durch die Geranium im üppigen Dickicht der Lichtungen als Spreizenklimmer über die Nachbarn hinausklettert. Bei vertikaler Lage senken sich spontan nur auf der „Bedürfnisseite" Blattstiele. Schneidet man solche Stützen ab, oder werden sie, was oft vorkommt, von Schimmelpilzen zerstört, so senken sich darüberstehende Stiele assimilierender Blätter herab und ersetzen die verloren gegangenen Stützen oft zweifach und dreifach.

Dies ist die Sachlage, soweit sie für unseren Zweck in Betracht kommt. Mechanistisch, durch Zuchtwahl oder sonst im Sinne eines physikalischen Geschehens ist an ihr gar nichts zu deuten. Bloße Schwerkraftwirkung müßte die Spreiten auch bei wagrecht wachsenden Pflanzen zu Boden drücken, noch vielmehr an senkrechten im Herbst; sie müßte auch das Sicherheben der Spreiten verhindern, deren Stiele nicht mehr als Stützen tätig sind. Der Ersatz verloren gegangener Stützen zeigt sich hier als ein Akt pflanzlicher „Willkür" von vollständigem Handlungscharakter. Es wirken hierbei wohl auch frühere Erfahrungen mit. Daß sich funktionslos gewordene Stützen wieder erheben, andere an passender Stelle sich senken, beweist nicht nur zugunsten einer Reizleitung gleich jener der Sonnentaupflanze, sondern es verrät auch eine Koordination der Bewegungen. Daß sich nur an „passender Stelle" Blattstiele bewegen, ist ein sicheres Zeichen von Wahlfähigkeit. So steht *Geranium* da als (neben *Drosera*) das derzeit beste Experimentalmaterial, um das Psychische der Pflanze überzeugend zu demonstrieren.

Koordination der Bewegungen ist ein neuer Begriff für die Pflanzenphysiologie, den sie jedoch nicht mehr umgehen kann, und der sie allein schon zu einer Psychologie zwingen müßte, auch wenn nicht alles übrige im Pflanzenleben darauf verwiese. Es ist übrigens unbegreiflich und läßt die Gewalt „herrschender"

Meinungen wieder tief empfinden, daß man nicht schon längst aus dem geordneten lichtsuchenden Rollen einer *Volvox*-Kolonie auf die Koordination, also psychische Lenkung der pflanzlichen Bewegungen, geschlossen hat. Denn wenn die 32000 Geißeln, über die eine wohlausgewachsene *Volvox*-Kugel verfügt, nicht in feinst abgewogenem Nacheinander und Zusammenwirken schlügen, käme diese Pflanze nie von der Stelle, während sie in Wirklichkeit sicher dahinschwebt wie eine wohlbediente Barke unter strengem Kommando.

Da eine solche *Volvox*-Kugel ebensogut Licht suchen kann wie *Euglena*, den zu dunklen Stellen ebenso ausweicht wie den zu hellen, im passenden Lichtbezirk aber aufsteigt, dann in gewisser Höhe plötzlich die Geißelbewegung einstellt, rasch zu Boden sinkt und dann wieder emporschwimmt, kann man diese Tätigkeit nicht als eine rein reflektorische bezeichnen. Denn auch Reflexe suchen nicht.[1]) Wenn daher in der neueren Botanik mehrfach (Jost, Oltmanns, Czapek)[2]) der Versuch gemacht wurde, Tropismen der Pflanzen als Reflexbewegungen zu deuten, so ist das zwar eine hocherfreuliche Annäherung an die Wahrheit, der wir mit diesem Buche dienen wollen, trifft auch gewiß ins Schwarze, da den Pflanzen zweifellos zahllose Reflextätigkeiten zukommen, umfaßt aber nicht das Ganze ihres psychischen Lebens. *Volvox* allein würde genügen, um dies mit seinem soeben geschilderten Verhalten zu verraten.

Wenn die Befruchtung des pflanzlichen Eies im Embryosack die Bildung von Nahrungsstoffen auslöst, in der Eizelle dagegen die Embryobildung, in den Samenknospenintegumenten die Herstellung der Samen- und Fruchthüllen mit den Mitteln zum Schutz des Samens gegen Witterung und Feinde und zur günstigen weiteren Verbreitung, in den ferneren Blütenteilen endlich unter Umständen (z. B. bei der Bildung von Scheinfrüchten) Zellvermehrungen, die den Lebenszwecken des Samens untertan gemacht sind, so ist damit auch eine Koordination innerer Reizbewegungen verraten, deren Analyse weit über reine Reflexe (die nur ihre

[1]) Wohl kann *Volvox*, durch seine Reflexe orientiert, so suchen, wie dies jüngst V. Bauer an den Mysis-Krebsen gezeigt hat, vgl. V. Bauer, Über die reflektorische Regulation der Schwimmbewegung bei den Mysiniden (Archiv f. Physiologie 1908). Nur ist dann damit eine Willenshandlung (Trieb), also wieder Psychisches, erschlossen.

[2]) Vgl. hierüber meine Arbeit über die Lichtsinnesorgane der Algen.

Faktoren sind) hinausführen muß, außerdem die Analogien zwischen Pflanze und Tier wieder an einem wesentlichen Punkte herstellt.

Einen nicht weniger interessanten Einblick in das Innenleben der Pflanze gestatten die zahlreichen Forschungen über

Umformungen,

also innere Bewegungen auf Reize hin. Seit den klassischen Untersuchungen von E. Stahl über die direkten Anpassungen der Blattanatomie unserer Rotbuche an wechselnde Lichtstärke, ist über ähnliche Vorgänge im Pflanzenkörper eine sehr ausgedehnte Literatur entstanden, deren Hauptnamen etwa Bonnier, Hesselmann, Winkler, A. Wagner, Boirivant und Holtermann sind. Wir brauchen für unsere Zwecke daraus nur wenige typische Fälle herauszuheben, da alle diese Adaptationen und Umdifferenzierungen, wie man diese Vorgänge bezeichnet hat, nach demselben Schema ablaufen. Die phylogenetisch überkommene Struktur wird innerhalb (wie es scheint) ziemlich weiter Plastizität auf eine Änderung der äußeren Einflüsse hin so geändert, daß dadurch der normale Ablauf früherer Funktionen gewährleistet ist. Das bestimmende Maß, welches den Änderungen das Ziel setzt, sowie der die Umformungen auslösende Reiz müssen in diesem Fall Lust- und Unlustempfindungen sein.

Wenn Holtermann[1]) auf Ceylon an Blättern von *Rhizophora*, *Sonneratia* und anderen Mangrovepflanzen, die von ihrem natürlichen Standort in den botanischen Garten zu Peradeniya versetzt wurden, ein Verschwinden der Schleimzellen, ein Dünnerwerden der Kutikula und ähnliche Veränderungen finden konnte, wenn Winkler[2]) fand, daß ein Blattstiel, der als Stengel fungiert, auch seine Anatomie demgemäß umformt, wenn Boirivant[3]) an entblätterten Zweigen von *Robinia Pseudacacia* neue Spaltöffnungen auftreten sieht, wenn er eine Verstärkung der Assimilationsgewebe, eine Rückentwicklung der Holz- und Bastelemente bemerkt, bis ein völliger Funktionswechsel eintritt, und der Zweig an Stelle der entfernten Blätter assimiliert, so wurde in allen diesen Fällen da-

[1]) Holtermann, Anatomisch-physiologische Untersuchungen in den Tropen (Sitzungsber. der Berliner Akademie 1902).

[2]) A. Winkler, Über die Umwandlung des Blattstieles zum Stengel (Jahrbücher f. wiss. Botanik 1907).

[3]) A. Boirivant, Recherches sur les organes de remplacement chez les plantes (Annales des sciences natur. Botanique. 8 sér. S. 6. 1898).

mit ein Wiederaktivwerden bereits ruhender Gewebe festgestellt, für das absolut kein Analogon aus der Physik, d. h. keine mechanische Erklärung, beigebracht werden kann.

Die erwähnten Fälle sagen zwar in dieser Beziehung genug, sind jedoch nicht so eingehend analysiert, daß ich sie in jeder Beziehung als Hauptbeweismittel verwenden möchte. An ihrer Stelle kann alles Nötige vielmehr aus weiteren drei Fällen solcher funktioneller Anpassungen (denn offenbar ist die „direkte Bewirkung“ in diesem Fall nichts anderes) entnommen werden, die schon deswegen auf das genaueste in dem Maße, wie wir es für unsere Beweiszwecke brauchen, durchforscht sind, weil sie direkt mit der psychologischen Fragestellung untersucht wurden.



Abb. 11.
Myriophyllum verticillatum: Gipfel und mittlerer Stengelteil der normalen Wasserform. (Nach Wagner.)

A. Wagner[1]) stellte sich die Aufgabe, an dem Tausendblatt (*Myriophyllum verticillatum*) die direkten Anpassungen auf ihre Entstehung und ihr Ineinandergreifen zu verfolgen. Dieses Gewächs lebt bekanntlich normalerweise völlig untergetaucht, hat jedoch die Fähigkeit, am Rande der von ihm bewohnten Gewässer bei tiefem Wasserstande zuweilen in eine Landform überzugehen, die sich im gesamten Wuchs auffällig von der Wasserform unterscheidet. (Vgl. die Abb. 11—13.)



Abb. 12.
Myriophyllum verticillatum: Endsteckling von Beginn in freier, trockener Luft. (Nach Wagner.)

[1]) A. Wagner, Über die Anpassungsfähigkeit von *Myriophyllum verticillatum* (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1907).

Die Versuchsanordnung war in folgender Weise hergestellt: Die bekannten Überwinterungssprosse (Turionen) des Tausendblattes wurden teils in Sand, teils in Erde, teils in Nährlösung zum Austreiben gebracht und vergleichend in feuchtigkeitsgesättigter und in Zimmerluft kultiviert. Mit anderen Worten: die Turionen wurden künstlich in die Umstände versetzt, denen sie sich auch in der Natur gewachsen zeigten. Sie wurden an das Landleben gewöhnt. Sie paßten sich denn auch in sehr auffälliger Weise durch eine vollständige Änderung der inneren und äußeren Gestaltung an, wofür die beistehenden, der Wagnerschen Arbeit entnommenen Bilder zeugen. Besonders kennzeichnend für die Landform ist, neben der großen Empfindlichkeit des Hauptvegetationspunktes, die raschere und ausgiebigere Bildung von Seitensprossen, welche vielfach die Erhaltung der ganzen Pflanze übernehmen. Der innere Bau dieser Pflanzen ist dazu in einer Weise verändert, die geradezu einzig die Forderungen erfüllt, welche unsere Arbeitshypothese an die Gewebe stellt. Wagner[1]) schreibt darüber: „Man kann füglich sagen, daß kein Organ, kein Gewebesystem dieser Pflanze, keine spezifische Einrichtung von der in den



Abb. 13.
Myriophyllum verticillatum, in feuchter Luft gedeihend, unter Glasglocke. (Nach Wagner.)

[1]) loc. cit. S. 363.

Lebensbedürfnissen so plötzlich eintretenden Umwälzung nicht betroffen würde, und kann sagen, daß sämtliche Anpassungen die Fähigkeit verraten, alle in der Organisation irgendwie gegebenen Mittel zur Erreichung der Selbsterhaltung heranzuziehen, ganz abgesehen von dem überraschend weitgehenden Erhaltungstriebe, welchen dieses so zarte und — seinem natürlichen Elemente entrissen — scheinbar so hinfällige Pflänzchen an den Tag legt.“

Die lehrreichsten Einsichten in diese Anpassungstätigkeit faßt der genannte Forscher selbst in folgende Sätze zusammen: „Die Anpassung betrifft stets die neu zur Anlage kommenden Organe. Der Vegetationspunkt erwies sich hier als außerordentlich empfindlich für den Feuchtigkeitsgrad der umgebenden Luft, und als Folge dieser Empfindlichkeit und ebenso intensiven Regulationsfähigkeit dieser embryonalen Gewebe erscheinen die neugebildeten Teile stets sofort in weitgehender erhaltungsmäßig veränderter Beschaffenheit. Wir können also hier in dem embryonalen Gewebe des Vegetationspunktes in deutlicher Weise direkt das die Veränderung der Umgebung empfindende und die Reaktion bestimmende vermittelnde Organ erkennen“.[1])

Die hervorragendsten derartiger direkter Anpassungen waren das Auftreten von Spaltöffnungen an den Luftblättern, während sie der Wasserform völlig mangeln. Die Blattfläche wird beim Luftblatt reduziert, der Chlorophyllgehalt gesteigert. Es beginnen sich Palisaden zu bilden. Für Durchlüftung ist besser gesorgt; die Leitungsstränge entwickeln sich enorm im Vergleich zum Wasserblatt. Auch der Stammbau bildet sich den neuen Bedürfnissen gemäß um. Besonders kennzeichnend ist hierbei die Verkürzung der Diaphragmen. Der Stamm des Tausendblattes ist ein im pflanzenanatomischen Praktikum wohlbekanntes Muster für Ausbildung von Lufträumen. Das anatomische Bild (s. Abb. 14, Fig. 1) ist das eines Rades, dessen Speichen den die Lufträume trennenden Diaphragmen entsprechen. Diese Diaphragmen werden bei der Anpassung aus leichtverständlichem Motiv zusammengezogen (Abb. 14, Fig. 2—3). Wären doch lange, also weiche Diaphragmen der Festigung des Stammes, welcher die Landform dringend bedarf, sehr hinderlich!

[1]) Wagner, op. cit. S. 349.

Ein besonders ins Auge fallendes Hilfsmittel des Tausendblattes, um sich bei der großen Empfindlichkeit seines Hauptvegetationsprozesses dennoch zu erhalten, ist, wie erwähnt, die reichliche Bildung von Seitensprossen. Da ist es denn nun im höchsten Grade auffällig, daß, während die Wassersprosse nur minimal Stärke führen, die Luftsprosse im ganzen Stammparenchym reichlich mit Stärke versehen sind. Wenn man hieraus im Sachs-Goebelschen Sinne einer Stofftheorie den Schluß ziehen wollte, daß der vorhandene „Bildungsstoff" die Ursache der geschilderten Wachstums- und Bildungsvorgänge sei, so beugt dem Wagner mit dem guten Argument vor, daß niemals in Reservestofforganen das Vorhandensein der Stoffe als solches genüge, um Neubildungen anzuregen. „Dieser reiche Stärkegehalt, welcher der Pflanze in den Luftexemplaren jederzeit und in jeder Stammregion zur Verfügung steht und überall die Bildung von Seitensprossen ermöglicht, liefert nun den indirekten Beweis, daß die Unterdrückung des Zellwachstums, namentlich in den Diaphragmen des Stengels, als direkte Anpassung an die veränderten Lebensbedürfnisse aufzufassen ist, nicht etwa als eine durch ungenügende Ernährung aufgezwungene Reduktion der Zellbildung; bei derartig reichlichem Überschuß an Kohlehydraten kann hievon nicht die Rede sein. Um so auffälliger wird dadurch der Charakter dieses Verhaltens als der einer Bedürfnisanpassung." [1])

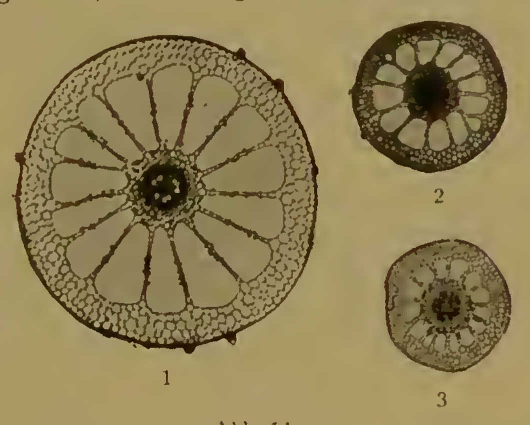


Abb. 14.
Anatomische Veränderungen im Stamme des Tausendblattes beim Übergang vom Wasser- zum Luftleben. 1: Querschnitt durch den Stamm einer Wasserform. 2: Derselbe beim Feucht-Luftspross. 3: Derselbe beim Trockenluftspross. Alle drei siebzehnfach vergrößert. (Nach A. Wagner.)

Stellen wir nun angesichts dieser Naturtatsachen die Denkweisen einander gegenüber, die eine Erklärung bieten können. Da man in der neueren theoretischen Biologie so viel das Sparsamkeitsprinzip der Erklärung betont, wonach die am wenigsten die Voraussetzungen bedürfende Annahme die beste sei, so wollen wir versuchen, vorerst mit mechanischen Prinzipien [2]) das Geschehen so

[1]) Wagner, op. cit. 362.
[2]) Womit durchaus noch nicht zugegeben ist, daß die sogenannte „mechanistische" Erklärungsmethode stets freier von Hypothesen, d. h. sparsamer, sei.

weit in Analogie zu bringen, als es möglich ist. Eine Pflanze verändert selbsttätig ihr ganzes Gefüge, ihre Form, teilweise ihre Funktionen, sie schafft neue Organe (Spaltöffnungen), die sie vorher nicht hatte. Sie vollführt dies, wenn sie aus dem Wasser in die Luft gelangt. Gibt es eine Maschine, die automatisch anders funktioniert, wenn sie in ein anderes Medium gelangt? Es gibt keine, aber man kann sich zur Not einen Automaten vorstellen, der so eingerichtet ist, daß er im Wasser tätig ist, in dem aber beim Austrocknen ein bis dahin totliegender Motor tätig wird. Diese Vorrichtung müßte schon da sein und durch das neue Medium nur aktiviert werden. Völlig undenkbar aber ist es, daß ein Automat einen solchen Motor erst herstellt! Das tut jedoch die Pflanze in unserem Fall mit den Spaltöffnungen. Latent, vererbt in ihr ist nur die Fähigkeit dazu — auch etwas, was durch Maschinen nie imitiert werden kann. Ganz absehen hierbei wollen wir wieder davon, daß diese hier Schiffbruch leidende sogenannte mechanistische Erklärung eigentlich eine theistische ist, denn darin haben Reinke und P. Wasmann vollkommen recht, daß zu jeder Maschine ein Maschinenbauer gehört.

Nun leugnen auch wir nicht, daß ein solcher da sei, denn das lebendige Geschehen bedient sich ja ununterbrochen der Mechanismen. Was uns den Theismus jedoch unannehmbar macht, ist die Autonomie, die Selbsterbauung, Selbstabänderung, Selbstausbesserung dieser Mechanismen, so daß wir, wenn wir an dem gewählten Bilde festhalten, sagen müßten: der Maschinenbauer der Pflanze ist nicht außer ihr, sondern er steckt in ihr selbst, er lebt und stirbt mit ihr.

Eine solche Identität von Produkt und Produzent pflegt man aber nicht als Maschine zu bezeichnen. Die Übereinstimmung zwischen dem pflanzlichen und bisher bekannten physikalischen Geschehen ist in dem betrachteten Fall nicht vorhanden. Wir müssen nach anderen Erklärungsmöglichkeiten suchen.

Göbel hat eine solche empfohlen und mit viel Beredsamkeit begründet. Es ist ihm geglückt, den umgekehrten Anpassungsweg zu provozieren wie Wagner. Die Skrofulariazee *Limnophila heterophylla* (Abb. 16), mit der er experimentierte, ist eine typische, amphibische Pflanze der Tropen. Wie unsere Seenranunkel, hat auch sie die Unterwasserblätter fein zerschlitzt; die aus dem

Wasser emporragenden dagegen sind ungeteilt (Abb. 15). Die Zerschlitzung der Wasserblätter entsteht dadurch, daß die Zähne der Luftblätter zu langen Blattzipfeln auswachsen. Wenn man nun Landpflanzen in Wasser versenkt, bilden sie Seitensprosse mit geteilten Blättern. Es ist also gerade die umgekehrte Anpassung wie bei Wagners Tausendblatt.

Nun beobachtete Goebel[1]), daß die Keimpflanzen, gleichgültig, ob sie untergetaucht oder als Landpflanzen wachsen, stets geteilte „Wasserblätter“ hervorbringen. Er sah ferner auch an älteren Landpflanzen solche geteilte Blätter. Da er sich nun auf Bestätigungen dieses Verhaltens (an *Proserpinaca*) berufen konnte, gelangt er zu dem Schluß, daß solche Pflanzen zwei Formen haben, eine „Folgeform“ und eine „Jugendform“. Er unterschreibt den Satz von Burns, dem er sich anschließt: „Unter guten vegetativen Bedingungen hat sie (die Pflanze) das Bestreben, die Folgeform mit den ganzen Blättern, Blüte und Frucht hervorzubringen, unter ungünstigen Vegetationsbedingungen hat die Pflanze das Bestreben, die Jugendform mit dem geteilten Blatt zu bilden.“



Abb. 15.
Limnophila heterophylla: Landpflanze, welche, in Wasser gebracht, zwei Seitensprosse mit geteilten „Wasserblättern“ hervorgebracht hat (in Wasser photographiert). (Nach Goebel.)

Um das Odium zu beseitigen, das dem so ganz unphysikalischen Wort „Bestreben“ anhaftet, präzisiert er seine Auffassung bei analogen Fällen später (S. 55) dahin: „Wir kommen auch hier zu dem Schlusse: die Entwicklung der höheren Blattform ist geknüpft an das Vorhandensein von Baumaterialien (orga-

[1]) K. Goebel, Einleitung in die experimentelle Morphologie. S. 47—51.

nischen Substanzen), welche an Qualität oder Quantität verschieden sind von denen, die zur Bildung der Bandblätter (nämlich der Jugendform) ausreichen. Eine Veränderung der Lebensbedingungen, welche die Stoffwechselerscheinungen ungünstig beeinflußt, resp. eine negative Veränderung in der Qualität oder Quantität der Baumaterialien herbeiführt, veranlaßt die Bildung der Bandblätter, ganz gleichgültig, ob die Pflanze im Wasser oder in der Luft sich befindet, obwohl zweifellos die Bandblätter insofern als dem Wasserleben angepaßt zu betrachten sind, als sie dabei ihre größte Entwicklung erreichen." An anderer Stelle (S. 57) heißt es bei ihm: „Die ‚Landform' kann unter Wasser angelegt oder auch durch Leben an der Luft bedingt werden. In beiden Fällen handelt es sich darum, daß die Zusammensetzung der Baustoffe eine andere ist, als die, welche zur Bildung der ‚Wasserform' führt. Diese Veränderung kann also herbeigeführt werden durch die Tätigkeit der Pflanze selbst ohne Änderung des Mediums, in welchem sie lebt, oder durch die Änderung des letzteren." — „So kommen wir zu dem Schlusse, daß in der Heterophyllie (im weitesten Sinn) der Wasserpflanzen nichts anderes vorliegt als die auch bei anderen Pflanzen wahrnehmbare Abhängigkeit der Organbildung von den Ernährungsvorgängen." Er bekämpft deshalb De Vries, der diese Änderungen mit einem in den jungen Anlagen der Pflanze ruhenden Vermögen, sich über die Entwicklungsrichtung zu entscheiden, erklärt. Und, um uns ja keinen Zweifel zu lassen, was er an dessen Stelle setzt, sagt er S. 46 seines Werkes nochmals ausdrücklich, die Wasserzufuhr sei bei solchen Vorgängen nur eine Bedingung, nicht die eigentliche Ursache. „Diese ist nach der hier vertretenen Auffassung gegeben in der verschiedenen stofflichen Beeinflussung, welche darüber entscheidet, ob Wasser- oder Luftblätter entstehen sollen."

Wir müssen zugestehen, daß die von Goebel erforschten Tatsachen sehr interessant und sehr lehrreich sind. Für den Wagnerschen Fall besagen sie jedoch nichts, und da die inneren Veränderungen von *Limnophila* nicht untersucht wurden (obzwar es kaum zu beweifeln ist, daß auch hier das Gefüge regulativ umgebaut wurde), so kann der Fall leider nicht ganz analysiert werden. Doch auch so ist es bereits klar, daß die Stoffwechseltheorie nur Bedingungen zeigt und nicht das Wesen erklärt. (Ganz abgesehen davon, daß zwischen „Quantität" der Baustoffe

und Anpassungsqualität kein Kausalnexus denkbar ist.) Wir räumen ohne weiteres ein, daß die amphibischen Pflanzen ihre „Jugendform" annehmen. Sie ist ihnen eben das zur Verfügung stehende „Mittel". Pauly hat das seinerzeit glänzend ausgeführt, wie gerade dieses Abhängigsein der Anpassung von ererbten und zugänglichen Mitteln die Analogie zwischen Anpassung und seelischer Tätigkeit zur vollständigen macht. Dieses „Beschränktsein"



Abb. 16.
Limnophila heterophylla. Normale Wasserpflanze.
(Nach der Natur photographiert im botanischen Garten zu München.)

der organischen Natur ist der Hauptbeweis gegen das Walten unumschränkter, also metaphysischer Kräfte in ihr. Daß aber die Umformung der amphibischen Pflanzen auch einen Anpassungszweck erfüllt, gibt Goebel selbst zu. Was De Vries ganz richtig erkannt hat, daß ein wahlfähiges Selbst (Vermögen) dazu gehöre, um eine lebensnützliche Formänderung einzuleiten, darin liegt der Schwerpunkt der Sache. Daß die Baustoffe da sind, das ist nur ein Mittel, daß die Pflanze die passenden Baustoffe (in Qualität und Quantität) beschaffen kann, das ist die Ursache der Umformung.

Und zwar keine physikalische Ursache. Sondern, wie Fr. Darwin[1]) in einer seiner neueren Abhandlungen treffend sagt: Um einen physiologisch wertvollen Gesichtspunkt zu erlangen, müssen wir uns der Idee des freien Willens bedienen. Was wir in einer besonderen Lage tun, hängt von der Natur unserer früheren Erfahrungen und Handlungen ab. Das in der Pflanze als frei scheinende „Selbst" ist die Wage, welche die gegeneinander ankämpfenden Einwirkungen abwägt. („The ‚self' in plants which seems to be spontaneous is the balance which weighs conflicting influences.") Daß ein Abwägendes, Wählendes in der Pflanze der Angelpunkt und Ausgangspunkt ihrer Tätigkeit sei, hat auch Goebel gefühlt, sonst hätte er nicht nach der „Ursache" gesucht, welche die Entscheidung in der Frage: ob Luft oder Wasserblätter fällt. Daß er auf S. 46 die Nahrungsstoffe darüber entscheiden läßt, wird er wohl selbst nicht so interpretiert sehen wollen, daß er ein Streben in die Materie verlegt. Wenn er das aber nicht tut, dann hat er die Frage offen gelassen, und seine Erklärung ist gescheitert.

Der Fall ist damit auch diesmal eindeutig geworden. Es bleibt nur der Vergleich mit Psychischem, d. h. mit einer Bedürfnisempfindung, die urteilsmäßig befriedigt wird. So, wie es Wagner (loc. cit. S. 352) ganz richtig zusammenfaßt: „Bedürfnismäßig ist das ganze Verhalten, das wird wohl niemand leugnen können. Ich halte es nun für ausgeschlossen, dieses Verhalten mechanisch, d. h. physikochemisch verständlich machen zu können; ohne das regulierende Empfindungsmoment kommen wir hier nicht durch."

So stellen *Myriophyllum* (und mittelbar auch *Limnophila*) wieder einen klassischen Beweis für die Richtigkeit unserer Hypothese dar, und die Analyse ihrer Umformungen hat noch den Sondernutzen gebracht, daß wir erkannten: im embryonalen Gewebe um die Vegetationspunkte scheinen bei den höheren Pflanzen die „Intelligenzzentra" zu liegen, so wie meine und andere Untersuchungen es für die Einzeller wahrscheinlich machten, daß Zellkern und Kinoplasma dort eine den Ganglien analoge Funktion ausüben.

[1]) Fr. Darwin, Lectures on the Physiology of Movement in Plants. I. Associated Stimuli (The new Phytologist. V. 1906, S. 199).

Die experimentelle Pflanzenpsychologie hat uns jedoch jüngstens noch mit Umformungen von Pflanzen bekannt gemacht, die wir ebenfalls dem klassischen Beweismaterial hinzufügen können.

W. Köhler hat in der Zeitschrift für den Ausbau der Entwicklungslehre, die sich rasch zum Zentralorgan der Pflanzenpsychologie entwickelt hat, eine Untersuchung über Umformungen von Wurzeln[1]) veröffentlicht, die jede Diskussion über die Möglichkeit von Rückschlagerscheinungen oder andere mechanistische Erklärungsversuche wie den von Detto (Hemmungserscheinungen) von vornherein deshalb abschneidet, weil sie eine Sonderanpassung an ungünstige Verhältnisse darstellt, welche auch diesmal wie bei den Suchbewegungen von *Euglena* durch Variation der Reaktionen zustande kam. Es handelt sich hierbei um folgendes: Keimwurzeln der Buffbohne (*Vicia Faba*) wurden gezwungen, unter starkem äußeren Druck zwischen Glasplatten zu wachsen. Es wurde also auch hier dieselbe Fragestellung angewendet, deren sich die experimentelle Pflanzenpsychologie und vergleichende Physiologie typisch bedient, nämlich, die Pflanze wird gezwungen, unter grundsätzlich neuen oder neu variierten Bedingungen eine Reaktion auszuführen, deren Ablauf dann auf seine physikalischen oder psychischen Analogien geprüft wird.

Im gegebenen Fall wuchsen die in derartige Zwangslage versetzten Wurzeln wie im gewöhnlichen Zustand weiter, nur formte sich aus leicht durchschaubaren, rein mechanischen Gründen der Querschnitt dem verfügbaren Wachstumsraum gemäß und wurde elliptisch bis rechteckig. „Wird aber der Spalt zu eng, so wächst entweder die Wurzel überhaupt nicht weiter, oder sie tut dies mit erheblich geringerer Geschwindigkeit als im normalen Falle.“ „Auf diese Weise vermochte mitunter die Wurzel von *Vicia Faba* noch durch einen etwa $^1/_3$ mm breiten Spalt hindurchzuwachsen, ohne daß ein Zerreißen des Zentralzylinders stattfand . . .“ „Wenn endlich die Wurzel mit all diesen ihr zu Gebote stehenden Mitteln nicht zu ihrem Ziele gelangte, so blieb ihr noch die Möglichkeit, sich an der Spitze zu teilen, so daß dann jeder Teil für sich allein vorwärts zu wachsen suchte“ (S. 228). — „Gelingt es aber keiner der beiden Spalthälften, durch den engen Spalt weiter zu wachsen, so übernimmt mitunter eine nahe der Wurzelspitze gelegene Neben-

[1]) W. Köhler, Untersuchungen über direkte Anpassung von Keimwurzeln (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre, Bd. II, 1908).

wurzel die Rolle der Hauptwurzel“ (S. 229). „Hand in Hand damit gehen innere Umformungen. Jedenfalls ist es für die in der Druckrichtung sich entwickelnden Nebenwurzeln außerordentlich mühsam, nach außen zu gelangen. Viel bequemer ist es daher, wenn die Xylemplatten von vornherein nicht nach der Druckrichtung, sondern nach der freien Richtung gelagert sind, und wenn dies nicht von vornherein der Fall ist, so verändert sich der Zentralzylinder selbst so, daß die günstigste Lage der Xylemplatten erreicht wird“ (S. 230, vgl. Abb. 17).

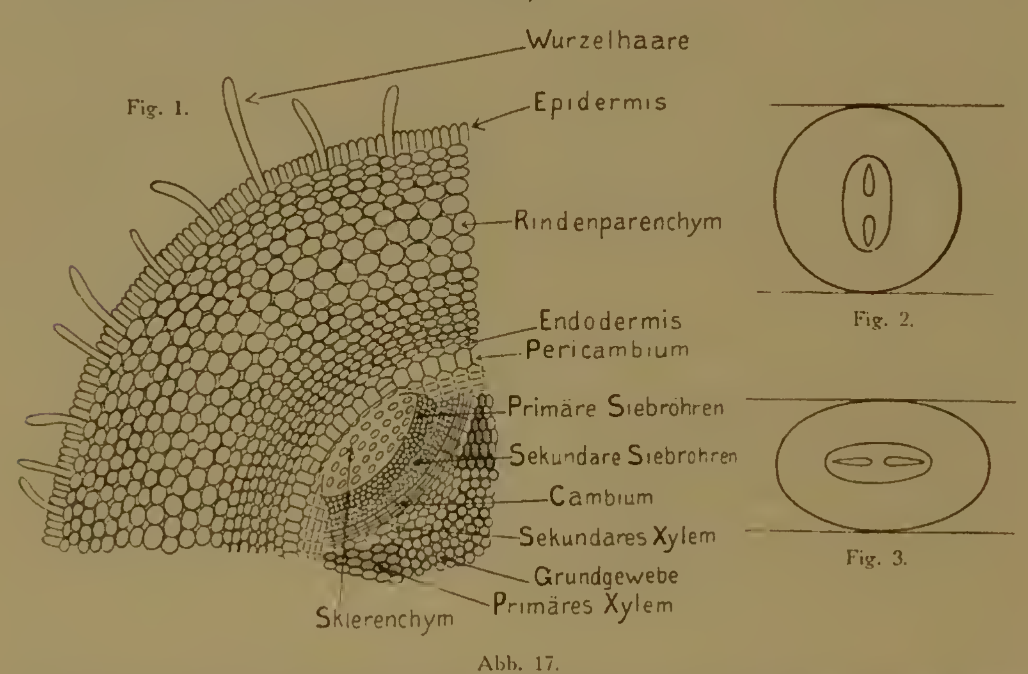


Abb. 17.
Künstlich provozierte anatomische Umformungen von Keimwurzeln. Fig. 1. Querschnitt durch eine normale Wurzel. Fig. 2—3. Verlagerung der Xylemplatten der Wurzel von *Lupinus albus* vor dem Durchwachsen eines Spaltes. (Nach Köhler.)

Köhler zieht aus seinen Beobachtungen den Schluß, daß die Pflanze ein Orientierungsvermögen zu psychisch regulierter Tätigkeit besitze, und führt als seine Überzeugung bis zur Gewißheit steigernde Erfahrung schließlich noch folgendes an: Die Keimwurzel von *Lupinus albus* wurde so unter die Glasplatten gebracht, daß die beiden primären Xylemplatten dieser diarchen Wurzel, „über denen sich also Nebenwurzeln entwickeln, von vornherein nach der Druckrichtung hin gerichtet waren. Beim Hineinwachsen in den Spalt drehten sich aber die Xylemplatten immer mehr und mehr aus der Druckrichtung heraus, bis sie schließlich in die für die Entwicklung der Nebenwurzeln günstigste

Richtung gekommen waren, nämlich in die Richtung senkrecht zum Drucke“ (S. 230, Fig. 2 und 3 auf Abb. 17).

Ähnliche Berichte liegen auch von seiten anderer Forscher vor, so an gleicher Stelle von W. Wildt[1]) und von Prein.[2]) In diesem Fall war das Hauptergebnis, daß sich die Ernährungswurzeln der verschiedensten Pflanzen (*Daucus, Artemisia, Pisum,* etc.) durch experimentelle Einwirkung der Zugkraft anatomisch verändern lassen, so daß sie den Befestigungswurzeln ähnlich werden.

Dies alles ist von großer Bedeutung für die wissenschaftliche Befestigung unserer Hypothese. Namentlich darin, daß *Vicia* mehrere in ihrer ererbten Struktur gegebene Mittel hat, um einer Schädigung durch Druck auszuweichen, daß sie sowohl die Zellteilungsfolge und Richtung ändern wie das Wachstum sistieren und verlangsamen als auch ihre Wurzel teilen kann; daß sie der Reihe nach diese Reaktionen versucht, die Versuche

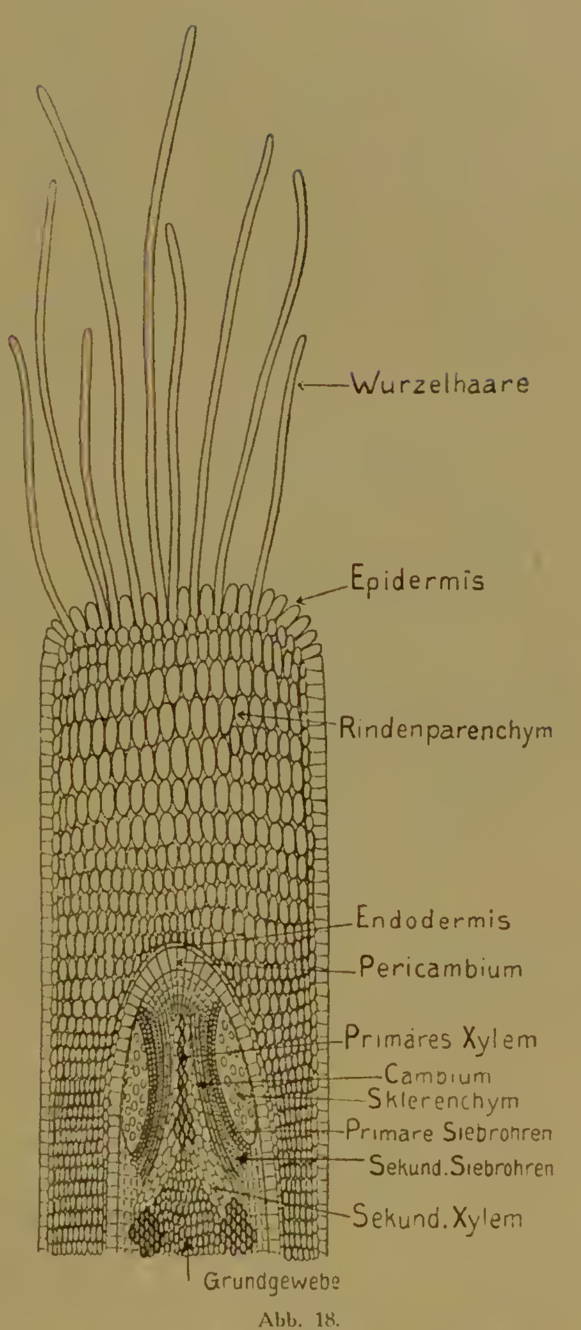


Abb. 18.
Künstlich provozierte anatomische Umformungen von Keimwurzeln. Querschnitt durch eine sich durch einen Spalt zwängende Wurzel.

[1]) Vgl. H. Dittmar, Die Erzeugung von Festigkeitselementen in Wurzeln durch Funktion (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre, II., 1908).

[2]) Vgl. W. Wildt, Untersuchungen über den Einfluß mechanischer Hemmungen auf die histologische Entwicklung der Wurzeln (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre, 1908).

von Fall zu Fall bei günstigem Erfolge einstellt, das ist nie „von vornherein einzurichten" möglich und verrät jene gewisse Freiheit der Handlung, die von Maschinen nicht erreicht werden kann. Ein zweites psychistisches Analogon von höchstem Werte ist die prometheische Umlagerung von Gewebselementen zur Erreichung eines Effektes, dessen Zweckmäßigkeit erst im Verlaufe längerer Entwicklungsfolgen zutage tritt. Hier ist nicht eine funktionelle Zweckmäßigkeit am Werke, eine durch Maschinenbedingungen ausgewirkte Kombination, die bei Eintreten des auslösenden Faktors mit der

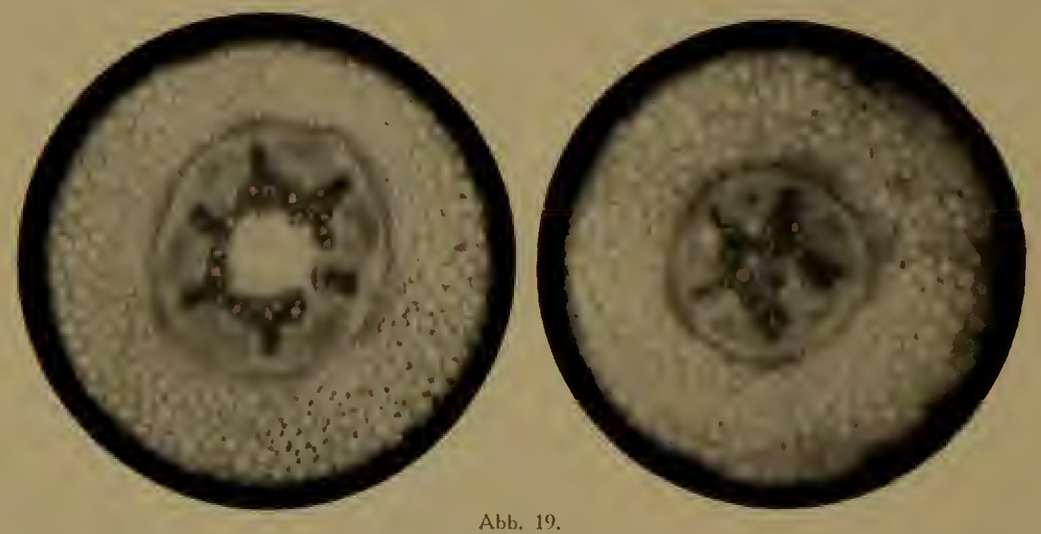


Abb. 19.
Anatomische Umformung von Wurzeln von *Vicia Faba* unter dem Einfluss der Zugkraft mit dem Effekt größerer Festigung. 1. Normale Stelle eines Querschnittes, Holzstrahlen teils getrennt, ovaler Zentralzylinder, in der Mitte parenchymatisches Mark. 2. Gezogene Stelle, kreisförmiger Zentralzylinder, Mark bis auf Spuren verschwunden, dafür Holzstrahlen alle verwachsen. (Nach Wildt.)

vorgesehenen Reaktion antwortet, sondern es wirkt hier, wenn man so sagen darf, eine planende Zweckmässigkeit (nur die soll durch den Ausdruck „prometheisch" gekennzeichnet sein). Auf den Druckreiz erfolgt eine Umlagerung von Geweben, die als unmittelbare Wirkung in keiner Weise den Druck lindert noch sonstige Vorteile schafft. Erst im 10. und x-ten Gliede der Geschehenskette wird dieser Nutzen präsent, weil nun die später entstehenden Nebenwurzeln kraft ihres Lagevorteils in den einzig freibleibenden Raum hineinwachsen können. Die Pflanze hat also, orientiert durch den Druck, ihren Mechanismus umgebaut, und zwar so, damit er später ungehindert funktionieren kann. Es gibt nicht leicht noch eine Lebenserscheinung, aus der es so klar hervorleuchtet, daß die Pflanze einen wahr-

nehmenden, entscheidenden, kombinierenden, wählenden und planenden Faktor in sich hegt, der den Anstoß zu ihren Reaktionen gibt und deren Ausführung regelt, und der durch diese Bestimmungen mit nichts anderem in Analogie gebracht werden kann, als mit dem Intellekt.

Nach so vielen Beweisführungen an den bisher analysierten einwandfrei untersuchten Fällen der Suchbewegung von *Euglena*, der Bewegungswahl von *Drosera, Digitalis, Diclytra, Clematis* und *Geranium*, der Koordination der Bewegungen von *Volvox*, der Bedürfnisanpassungen von *Myriophyllum* und der Reaktionswahl von *Vicia* und *Lupinus*, wäre eigentlich unsere Aufgabe schon vollendet, denn von den einfachsten Algen bis zu höchsten Blütenpflanzen ist es uns gelungen, in den Reaktionen durchgängig einen den Mechanismus der Pflanze lenkenden, daher außerhalb der Mechanistik fallenden, durchaus nach psychischen Analogien (Wahrnehmung, Strebung, Wahlfähigkeit, Handlungsfreiheit und Beschränkung auf gegebene Mittel) wirkenden Faktor aufzuzeigen.

Da nun hier nicht ein Handbuch der Pflanzenpsychologie geplant ist, wozu übrigens auch noch nicht genügend Bausteine vorliegen würden, weil unser Wissen gerade nur die ersten unsicheren Schritte auf einem, wie es mir scheinen will, unermeßlich langen Wege neuer Erkenntnisse wagt, und da eine weitere Häufung solcher Analysen höchstens verdunkelnd auf den Kernpunkt unseres Strebens, sicher aber höchst ermüdend wirken möchte, wird man mit mir wohl eines Sinnes sein, wenn ich im weiteren die bisherige Darstellungsart verlasse und nur noch eine Art Umschau darüber biete, wie reich und interessant das sonstige Beweismaterial unserer Hypothese beschaffen ist.

2. Regulationen.

Das ungeheure Gebiet pflanzlicher Regulationen ist so recht eigentlich das Feld, auf dem der auf Wiederherstellung seines gestörten Gleichgewichtes hinarbeitende Organismus des Intellektes bedarf. Er wird sich hierbei aller verfügbaren ererbten und erwerbbaren Mittel bedienen müssen und dennoch oft versagen, da die Möglichkeiten der Störung sogar für den bewußten Menschengeist unberechenbar sind. Es werden also bei dem Studium der Regulationen dem Forscher häufig krasse Unzulänglichkeiten der Pflanze

aufstoßen, die er als Unzweckmäßigkeiten deuten muß und bei voreiliger Verallgemeinerung gegen ein teleologisches Prinzip in der Pflanze ins Treffen führen wird. Solche Unzulänglichkeiten sind jedoch, wie ein wenig Nachdenken ohne weiteres klarmacht, nur gegen die theistisehe Teleologie ein vernichtendes Argument. Nur eine solche müßte nämlich unfehlbar sein. Für die Psychistik, die wir vertreten, sind dagegen die im Leben der Pflanze hervortretenden Dysteleologien geradezu eine der besten Stützen, da die Fähigkeit, zu irren, ebensowohl einer Masehine abgeht, wie sie gegen einen metaphysisehen Lenker des Pflanzenlebens zeugt. Durch sie bleibt nur noch die dritte Möglichkeit, nämlieh die eines beschränkten Intellektes übrig.

Wenn eine verletzte Pflanze unter Umständen rascher wächst und ihre gesamte Entwicklung beschleunigt, so liegt darin ein klassisches Beispiel einer Regulation vor, die jeder mechanischen Analyse spottet. Wenn aber dieses rasche Wachstum dazu führt, daß die Pflanze Früchte hat zu einer Zeit, da die Jahreszeit das Reifen erschwert oder geradezu verhindert, dann liegt letzten Endes doch eine Unzweckmäßigkeit vor. Zeugt es aber irgendwie gegen die Intelligenz eines Menschen, wenn sein Streben an irgendeinem unvorhergesehenen Faktor scheitert? Wir werden sie etwas geringer einschätzen, wir werden ihn deswegen aber nicht für willen- und vernunftlos halten.

Eine solche Entwicklungsbeschleunigung nach Verletzungen habe ich im Sommer 1908 beobachtet. Ein außerordentlich heftiger Hagelschlag am 19. Juni hatte in einem Versuchsbeete mit soeben keimenden *Phaseolus*pflanzen einen Keimling so verletzt, daß dadurch das hypokotyle Glied, gerade im Begriffe, die schweren Keimblätter aus der Erde zu ziehen, an seiner äußeren Krümmung aufplatzte. Die Pflanze wurde dadurch, schon aus rein mechanischen Ursachen, verhindert, ihre Kotyledonen zu befreien. Sie ging daran jedoch nicht zugrunde, sondern richtete den Sproß zwischen den Kotyledonen auf und beschleunigte dessen Entwicklung so sehr, daß sie am 5. Juli neun vollentwickelte und sechs halbentwickelte, insgesamt also 15 Blätter gebildet hatte, während die unverletzten gleichalterigen Nachbarn mit assimilierenden Kotyledonen nur sechs (außer den Kotyledonen) Blätter besaßen. Es lag also

eine offenbare Entwicklungsbeschleunigung vor.[1]) Leider konnte der Versuch nicht zum völligen Abschluß gebracht werden, da ein abermaliger Hagel am 13. Juli die Pflanze abriß. Der Versuch wurde deswegen im Freilandbeet unternommen, da ich bemerkte (was auch sonst bekannt ist), daß alle psychistischen Reaktionen der Pflanze außerordentlich leiden, sogar „ungestimmt" werden, wenn sie unter unnatürlichen Verhältnissen vegetiert.

Was ist die Ursache dieser Entwicklungsbeschleunigung, die um so höher einzuschätzen ist, als die durch das nur minimale Funktionieren der Kotyledonen[2]) ohnedies an „Bildungsstoffen" verarmte Pflanze, noch dazu mit einem zur Hälfte leistungsunfähig gewordenen Stamm, nicht nur rascher Blätter bildete, sondern auch teilweise größere! Länge und Breite des ersten Blattpaares (das größte der drei Blätter) maßen 36 × 43 m/m, gegen 57 × 21 m/m bei einer normalen Pflanze. Wir finden keinerlei mechanische Ursache zu einem Streben, den Entwicklungsgang abzukürzen. Die Ursache kann nur im Innenleben der Pflanze liegen. Und einen Wink, woran hierbei zu denken sei, erteilt uns der Umstand, daß der Riß an dem hypokotylen Glied so irreparabel war, daß die Pflanze besonders bei zunehmendem Wachstum in höchster Gefahr schwebte, vom Winde abgerissen zu werden.



Abb. 20.
Junge Pflanze von *Phaseolus*, den Verlust der Kotyledonentätigkeit durch üppigeres Wachstum ausgleichend. (Original des Verfassers.)

Das klassische Beispiel einer solchen regulativen Entwicklungsbeschleunigung aus teleologischem Motiv ist aber nicht dieser

[1]) Über eine solche bei *Phaseolus* findet sich in Goebels experimenteller Morphologie (S. 16) ebenfalls eine Notiz. Es heißt dort: „Unter günstigen Kulturbedingungen gehen die *Phaseolus*-Pflanzen, denen frühzeitig die Kotyledonen genommen werden, nicht zugrunde. Am 6. Juni ausgesäte Pflanzen zeigten (9 cm hoch) am 20. Juli Blütenknospen. Die Beschränkung der vegetativen Entwicklung begünstigte offenbar die Blütenbildung."

[2]) Die Kotyledonen versuchten nämlich, wenigstens einen Saum von Assimilationsfläche herauszustrecken (s. Abb. 20). Die Experimente werden übrigens fortgesetzt, und es soll darüber seinerzeit noch berichtet werden.

(noch weiterer Experimente bedürftige) Fall, der uns nur gerade auf das Problem aufmerksam macht, sondern der von R. v. Wettstein entdeckte Saisondimorphismus gewisser Hochwiesenpflanzen, namentlich der *Gentiana-*, *Euphrasia-*, *Melampyrum-*, *Galium-*, *Campanula*-Arten u. a.

Die Erscheinung ist zu bekannt, als daß sie hier noch ausführlich zergliedert werden müßte; es genügt, auf Wettsteins interessante Veröffentlichungen[1]) darüber hinzuweisen. Wenn man dieses Phänomen allgemein so darstellen kann, daß man sagt: die saisondimorphen Arten haben sich in historischer Zeit in zwei Arten gespalten, von denen die eine rasch über die sie umgebenden Pflanzen hinauswächst und vor der allgemeinen Heumahd zu blühen und Früchte zu tragen sucht, während die andere sehr langsam wächst, von den Nachbarn überflügelt wird, weil sie eben trachtet, erst dann zu blühen, wenn das umgebende Gras bereits abgemäht oder nach seiner Fruchtreife bereits abgestorben ist, so ist damit eine Regulation des Entwicklungstempos gekennzeichnet, von solcher Planmäßigkeit und Autonomie und so überzeugend für die Richtigkeit unserer Theorie, daß ich mich jeder weiteren Hervorhebung enthalten kann.

An diese Erscheinung reihen sich aber noch zahlreiche andere, von denen mir besonders erwähnenswert Schübelers Entdeckung[2]) dünkt von der Anpassung der nordischen Gerste, die unter 70° n. Br. nur 55 Tage zur Reife braucht, während die Gerste bei Christiania, fast 10° südlicher, dazu je nach der Sorte 68—105 Tage bedarf.

Da man die Schübelerschen Versuche (De Vries, N. Wille u. a.[3]) bemängelt hat, wollen wir aber hier gar nicht die direkte Anpassung der Pflanze an die Vegetationsdauer damit beweisen, sondern nur das hervorheben, was unbezweifelbar ist, nämlich, daß diese Regulation vererbt wurde, was zugleich für die Pflanzenpsychologie ein neues Moment von hervorragender Bedeutung darstellt. Die richtige Folgerung hieraus verdanken wir Francis Darwin, wenn er die Semonsche Mnemik, auf die man

[1]) Vgl. R. v. Wettstein, Die europäischen Arten der Gattung Gentiana (Denkschriften d. Akad. d. Wissensch., Wien 1896) und R. v. Wettstein, Der Saisondimorphismus als Ausgangspunkt für die Bildung neuer Arten im Pflanzenreiche (Berichte d. deutschen bot. Gesellschaft, Bd. XIII).

[2]) F. C. Schübeler, Die Pflanzenwelt Norwegens. Christiania 1873, S. 53 u. ff.

[3]) Die im übrigen von R. Semon (Die Mneme, II. Aufl.) zurückgewiesen werden konnten.

solches zurückführt, als unbewußtes Gedächtnis oder als „Erlernung" bezeichnet und in durchaus psychischem Sinne verwendet, entgegen dem scharfsinnigen Entdecker der Körpergedächtniserscheinungen (wie man mnemische Phänomene wohl nennen kann), der es vorzieht, an einer krassen Mechanistik festzuhalten und dadurch auf jede Erklärung der von ihm so trefflich zergliederten Naturtatsachen zu verzichten. In dieser Hinsicht wurde er eigentlich überholt durch seine Vorgänger Butler und Hering und wird mit seiner durchaus psychologischen Terminologie jedesmal widerlegt, sooft man nur einen seiner Beweisfälle analysiert. Wenn Semon, um ein solches Beispiel zu geben, durch Versuche nachwies, daß die Akazie *Albizzia lophanta*, in vollkommener Dunkelheit gehalten, dann aber abwechselnd künstlicher Beleuchtung und Verdunkelung ausgesetzt, auch später in dauernder Helligkeit oder Dunkelheit ihre Blattbewegungen fortsetzte, so ist das als analoges Phänomen zu den Schübelerschen Ergebnissen mit Fr. Darwin wohl nur als Wirkung assoziativer Vorgänge in der Pflanze[1]) zu erklären, nicht aber durch Maschinenvergleiche. Das sieht auch Semon[2]) ein, wenn er diesem Fall hinzufügt: „Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß zur Ekphorie des Engramms . . . periodische Belichtung und Verdunkelung gehört. Diese letztere ist zur Ekphorie des Engramms erforderlich. Daß nicht sie es ist, die bei dem betreffenden Individuum dieses Engramm (Tendenz, die Bewegung in 12stündigem Turnus auszuführen) selbst erzeugt hat, wird dadurch bewiesen, daß nach ihrem Aufhören die Öffnung und Schließung der Blätter nicht in ihrem Turnus (6- oder 24stündig) erfolgt, sondern in einem andern, nämlich dem 12stündigen Turnus, dem das betreffende Individuum niemals ausgesetzt worden ist, wohl aber seine Vorfahren durch viele Generationen hindurch, und der mithin als ererbt anzusehen ist." Da verrät er schon durch das so ganz unmechanistische Wort Tendenz, das er nicht umgehen kann, daß die Mnemik kein Mechanismus sei, denn ein solcher hat keine „Tendenzen", etwas anderes zu tun, als ausgelöst wurde.[3])

[1]) Fr. Darwin, Associated Stimuli (The New Phytologist, V, 1906).
[2]) R. Semon, Die Mneme. II. Aufl., S. 102.
[3]) So hätte denn Semon wahrlich keine Ursache, in der Psychistik einen „großen und gefährlichen Rückschritt" (S. 381) zu erblicken, denn seine eigene Theorie steht und fällt mit jener, daß „Erregung" und „Reiz" nicht mehr materialistisch „molekulär" erklärt werden kann. Darüber belehrt jedes moderne Lehrbuch der Physik.

Ein sehr schönes neueres Beispiel solcher spontaner Assoziationen veröffentlicht übrigens J. Römer in der Zeitschrift für den Ausbau der Entwicklungslehre[1]) von der tropischen *Oxalis valdiviensis*, die in Europa schon in den ersten Nachmittagstunden Anstalten (Winter 3½ Uhr, Sommer 6 Uhr) trifft, ihren Blättern die Schlafstellung zu geben, jedoch auch schon um 2 Uhr morgens in vollkommener Dunkelheit sowohl im Winter als Sommer Vorbereitungen macht, die Tagesstellung einzunehmen, die um 4¼ Uhr erreicht wird. Hier hat sich also merkwürdigerweise das Einschlafen durch die neuen Verhältnisse modifiziert, das „Aufstehen" dagegen nicht.

Wer aber noch immer Zweifel hegt, daß bei diesen Vorgängen nur eine echt psychische Erscheinung, nämlich die der Assoziation früherer Eindrücke mit Bewegungsvorstellungen zu gegebener Zeit, in Vergleich gezogen werden kann, der erinnere sich des vielsagenden Untersuchungsergebnisses von Nordhausen, wonach „bei den baum- und strauchartigen Gewächsen die sogenannten Licht- und Schattenblattmerkmale[2]) auch ohne einen direkten Einfluß des Lichtes schon in frühen Entwicklungsstadien, sei es noch in der geschlossenen Knospe oder bald nach dem Aufbrechen derselben, zur Ausbildung gelangen können, d. h. also, daß den Blattanlagen bereits innerhalb der Knospe eine bestimmte Gestalt, bzw. Struktur induziert ist"[3]). Dies besagt nichts anderes, als daß eine sog. direkte Anpassung hier an anderer Stelle erzeugt wird, als wo sie perzipiert werden konnte, und das setzt mit Notwendigkeit eine Assoziation der inneren Vorgänge in der Pflanze voraus, die auch deswegen psychisch sein muß, weil sie zu einem Resultat von logischem Gehalt führt!

Mit einer Regulation von höchstem Werte für unsere Anschauung hat uns neuestens E. Pringsheim[4]) bekannt gemacht

[1]) J. Römer, Mnemische Erscheinungen bei *Oxalis valdiviensis* (Zeitschrift f. d. A. d. Entw. 1908, S. 302).

[2]) Also Änderungen im Bau der Palisaden, der Epidermis, der Lüftungseinrichtungen etc., ebenso in der Größe und Dicke der Blätter.

[3]) Nordhausen, Über Sonnen- und Schattenblätter (Berichte d. deutschen botan. Gesellschaft 1903, S. 41). Diese Arbeit ist übrigens auch dafür ein Beleg, daß das Regulationszentrum „im jungen Trieb" und nicht in den Erfolgsorganen zu suchen sei.

[4]) E. Pringsheim, Einfluss der Beleuchtung auf die heliotropische Stimmung (Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. 9, 1908).

durch seine Beobachtung, daß Keimlinge, von grellem Licht getroffen, zuerst auszuweichen suchen (durch eine negative Krümmung). Hierauf verstärkt sich die Kutikula, die Pflanze ergrünt stärker und erlangt so die Fähigkeit, die gleiche Lichtintensität ohne Schädigung zu ertragen. Hierauf richtet sie sich wieder auf und wächst im Lichte weiter. Jeder Kommentar würde hier nur abschwächen!

Eine weitere Regulation von klassischem Wert für die Pflanzenpsychologie ist der regulative Umbau hungernder Charasprosse.

Wenn man Armleuchteralgen in schwacher Beleuchtung und sehr nährstoffarmem Wasser wachsen läßt, entwickeln sich bekanntlich Sprosse wie der in Abb. 21 abgebildete, der sich von normalen (an der Spitze und dem Achselsproß des untersten Blattwirtels) durch große Vereinfachung des Baues unterscheidet. Mit anderen Worten: es entstehen durch Hunger „nacktfüßige Zweige“, bei denen die Berindung fehlt, ebenso die Knotenbildung in den Blättern, die also im ganzen in solcher Vereinfachung auftreten, wie wir sie sonst nur an den Keimpflanzen der Charen kennen.

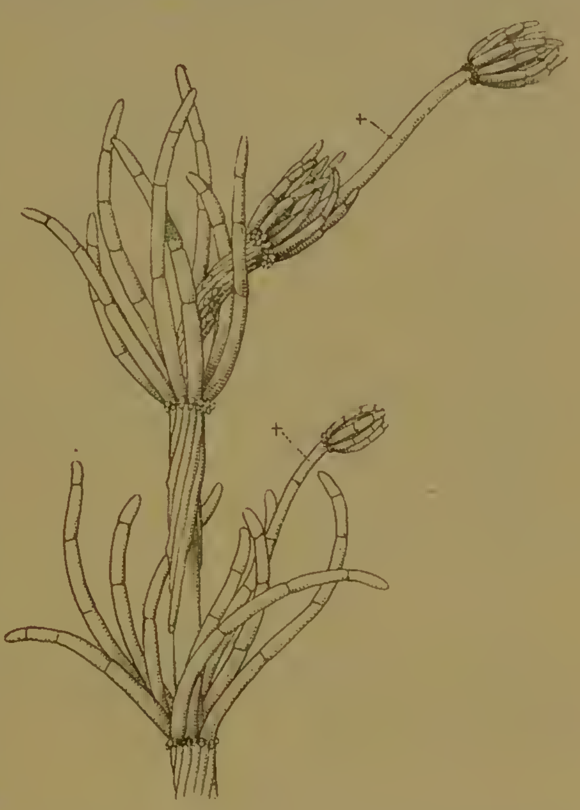


Abb. 21.
Vereinfachung des Baues an hungernden Charaalgen. ≻ = Vereinfachte („nacktfüssige“) Zweige. (Nach Goebel.)

Goebel[1]) erklärt sich dies gemäß seiner Theorie der „Nahrungsstoffe als Bildungsdeterminanten“ durch „Ernährungsstörungen“. Es ist ihm nicht zweifelhaft, daß auch „die an normal ernährten Pflanzen entstehenden nacktfüßigen Zweige dort deshalb sich ausbilden, weil die Zellen, aus denen sie entstehen, von vornherein weniger (resp. anders zusammengesetztes) Nährmaterial mitbekommen haben als die, welche zu normalen Seitenknospen auswachsen und korrelativ die Bildung der andern unterdrücken“ (S. 209).

[1]) Goebel, Experimentelle Morphologie S. 208.

Es ist bei dieser Denkungsart wieder die Hauptfrage unerörtert gelassen, und der Mechanismus der Ausführung als Mechanismus der Verursachung ausgegeben. Daß nacktfüßige Zweige mit weniger Baustoffen errichtet sind als normale (daß sie mit „anderem Nährmaterial“ erbaut werden, ist eine durch nichts gestützte Annahme), ist ohne weiteres aus ihrem einfachen Bau abzulesen. Zu erklären ist hierbei, warum die sie bildenden Zellen an normal lebenden Pflanzen weniger Nährmaterial mitbekommen; bei hungernden Charen aber dreht sich für eine wirklich kausale Forschung alles darum, wieso trotz dem Fehlen genügender Bausubstanz doch ein harmonisches Organsystem zustande kommt, eine einfachere und kleinere Ausgabe des Ganzen und nicht bloß ein Bruchstück, das zu wachsen aufhört, wenn nicht mehr genug Nahrung da ist! Wer die Pflanzen mit Maschinen vergleicht, der bedenke, daß sich hier folgendes ereignete: Ein Teppichwebstuhl, dem zu wenig Triebkraft zugeführt wird, dessen treibender Motor aus Mangel genügender Kohle nur mit halber Kraft arbeitet, steht nicht still, sondern webt automatisch den angefangenen Teppich zu Ende, nur wird er kleiner und von einfacherem Muster, das sich jedoch harmonisch dem angefangenen reicheren Muster anpaßt! Kann man solches einer Maschine zumuten? Das Lächeln, das uns bei solcher Erwägung befällt, sagt alles. Eine solche Sachlage kann nie und nimmer anders erklärt werden, als durch die Annahme, die Pflanze, die so handelt, ist eben kein Mechanismus, sondern ein Analogon zum intelligent handelnden Menschen. Denn ihre Leistung ist nur durch Intelligenz zu bewirken. Und wenn es auch Anthropomorphismus ist, so zu denken, so ist er eben logisch gefordert, weil der Tatsachenbestand ein durchaus anthropomorpher ist. Daß keine kritiklose Vermenschlichung stattfindet, dafür sorgt schon die nüchterne Kritik wissenschaftlicher Methodik, die sehr wohl nur die sparsamsten Annahmen zuläßt, die durch den Erfahrungsbestand gefordert werden, also von vornherein nicht das bewußte Denken und Wollen eines menschlichen Intellektes, sondern den unbewußten primärsten Empfindungs-, Vorstellungs- und Triebakt, einen auf das äußerste eingeengten Intellekt, dessen Funktion mit dem des Menschen eben nur noch das gleiche Prinzip, nämlich die psychische Gesetzmäßigkeit gemeinsam hat, und dessen Grad und

Artung eben nicht durch luftige Spekulation erklügelt werden kann, sondern durch rastloses Experimentieren bestimmbar ist und so auch umrissen werden wird. Weil wir heute erst am Anfang dieser empirisch vergleichenden psychologischen Forschung stehen, vermeiden wir es, hier uns diesen Spekulationen hinzugeben[1]), und begnügen uns mit der Feststellung daß wir für die Pflanzenphysiologie eine psychologische Arbeitshypothese bedürfen. Wir bescheiden uns heute dabei, den Weg zu erkennen, den die uns nachfolgende experimentelle Forschung erst weiten und befestigen wird.

Diese Analogie zu psychischen Gesetzmäßigkeiten ist eine Erscheinung, die man heute schon mit Hunderten von Belegen stützen kann. In meinem Hauptwerk habe ich, wie erwähnt, in den drei ersten Bänden allein über 500 solcher Belege aufgehäuft; hier will ich mich darauf beschränken, an besonders typischen derartigen Abläufen zu zeigen, daß das Psychische der bestimmende Faktor der Regulationen durchgängig im ganzen Pflanzenreiche sein muß. Zu solchem Übersichtszwecke können wir die Regulationen in formative und chemische sowie in Regulationshandlungen sondern, unter welch letzteren aktive Bewegungen zu verstehen sind.

Ein Beleg für formative Regulationen bei niederen Pflanzen ist die künstliche Erzwingung anatomischer Ordnung bei den Brutknospen der Lebermoose *Marchantia* und *Lunularia*. Die von diesen Moosen in besonderen Schüsselchen abgeschnürten Brutkörper sind zwar vielzellig, aber ohne jede Spur jener Dorsiventralität, welche die aus ihnen hervorgehende Pflanze auszeichnet. Diese innere Gliederung der Gewebe bildet sich erst je nach den Reizen, d. h. Empfindungen der Brutknospe. Die besser beleuchtete Fläche wird zur Oberseite. Erst nach Beleuchtung wird der Brutkörper orientiert und bildet seine Atemöffnungen und Luftkammern auf der entsprechenden Seite, die von nun an dauernd Oberseite ist.[2]) Die Unterseite erzeugt dann Rhizoiden. Hier können wir klar die Empfindung als notwendiges Orientierungsmittel der Entwicklungshandlungen erkennen. Sehr bedeutsam ist, daß die Empfindung die Pflanze irreleiten kann über ihre Lage. Man kann

[1]) Einen Versuch, die in Betracht kommenden Möglichkeiten aufzurollen, findet der Leser auf S. 441—445 des II. Bandes meines „Leben der Pflanze“.

[2]) Weil ihr später embryonale Plastik abgeht.

sie dadurch täuschen, daß man im Wasser schwimmende Brutkörper von unten stärker beleuchtet. In diesem Fall wird dann die Unterseite als physiologische Oberseite ausgebildet.

Ähnliche regulative Formbildung auf Orientierungsempfindungen hat O. Borge an den verschiedensten Fadenalgen feststellen können, wenn er als wesentliches Motiv ihrer Rhizoidenbildung die Berührung mit festen Gegenständen erkannte.[1]) Das hat auch Oltmanns erkannt, wenn er für die gleichen Verhältnisse bei den Florideen sagt: „die Rhizoiden, die sich z. B. bei den Florideen napfartig gestalten, sobald sie auf festes Substrat stoßen, werden das auch nur können, wenn sie für Berührung empfindlich sind.“[2]) (S. Abb. 22.) Es genügt nur die Empfindung nicht allein, sondern weil auf sie hin ein zweckentsprechend konstruiertes und an passender Stelle ausgestrecktes Haftorgan erzeugt wird, ist unbedingt in der Alge auch Assoziation, ein logischer Akt, und ein Trieb dagewesen, sonst hätte sie die Umsetzung der Empfindung ins Handeln nie vollbringen können.

Eine formative Regulation von großer Beweiskraft für unsere Frage hat bei höheren Pflanzen vor kurzem J. Wiesner bekanntgemacht. In seiner genußvollen Studie über den Lichtgenuß der Pflanzen bringt er Angaben darüber, daß die Pyramidenform der Zypresse nicht nur bei Bäumen des sonnigsten Südens, sondern auch an Ebereschen, Fichten, Föhren und Silberpappeln im hohen Norden sowie an *Pinus-* und *Picea-*Arten in großen Seehöhen im Yellowstonegebiet vorkommt und in allen diesen Fällen dem Streben der Bäume nach optimaler Lichtausnützung entspringt. Er sagt hierüber: „So zeigt sich also der Pyramidenbaum sehr verschiedenen natürlichen Beleuchtungsverhältnissen in zweckmäßiger Weise angepaßt, im subtropischen Gebiete und auf großen Seehöhen wehrt er das starke Sonnenlicht ab, auf nordischen Standorten macht er sich als Vorderlichtbaum das Sonnenlicht, welches daselbst niemals von hoher Sonne herrührt, zunutze, wie er auch im Süden und auf großer Seehöhe die von niederem oder mittlerem Sonnenstande kommenden direkten Sonnenstrahlen nutzbringend verwertet.“[3]) Hier ist es die individuelle Reaktion auf eine

[1]) Vgl. O. Borge, Über die Rhizoidenbildung bei einigen fadenförmigen Chlorophyceen. 1894.

[2]) Fr. Oltmanns, Morphologie und Biologie der Algen. II. Bd., S. 240.

[3]) J. Wiesner, Der Lichtgenuß der Pflanzen. 1908, S. 110—111.

individuell variierte Sachlage, welche die Begriffe eines stets generell zweckmäßigen instinktiven oder reflektorischen Tuns ausschließt, und da, wie Wiesner an dieser Stelle ausdrücklich hervorhebt, der erreichte Nutzen nur ein relativer ist, begleitet von anderen dadurch in Kauf genommenen Unzweckmäßigkeiten, so bietet dieser Fall zugleich eine unwiderstehliche Waffe gegen jedweden metaphysischen Vitalismus, weil dieser mit einer beschränkten und nur angestrebten Zweckmäßigkeit nicht vereinbar ist.

Eine formative Regulation lehrreichster Art, weil dadurch Anhaltspunkte für Vererbung von Erfahrungen als Vorhandensein von Instinkten gewonnen sind, ist in der Bildung der Trennungsphelloide gegeben, die v. Höhnel[2]) untersucht hat. Bekanntlich wird die Borke unserer Waldbäume ständig abgeworfen und zwar nicht einfach mechanisch infolge des Dickenwachstums, sondern, wie sich Haberlandt in seiner Physiologischen Pflanzenanatomie (S. 131) sehr hübsch psychologisch ausdrückt: indem „seitens der Pflanze eigene Trennungsgewebe gebildet werden, die eine leichtere Abspaltung der Borkenstücke bezwecken.“ Dies geschieht dadurch, daß diese Trennungsphelloide ihre Zellen entweder dünnwandiger oder dicker gestalten als die durch sie getrennten Korkschichten. Bei Feuchtigkeitswechsel scheinen dann die hygroskopischen Anschwellungen der Zellwände zum Zerreißen zu führen.

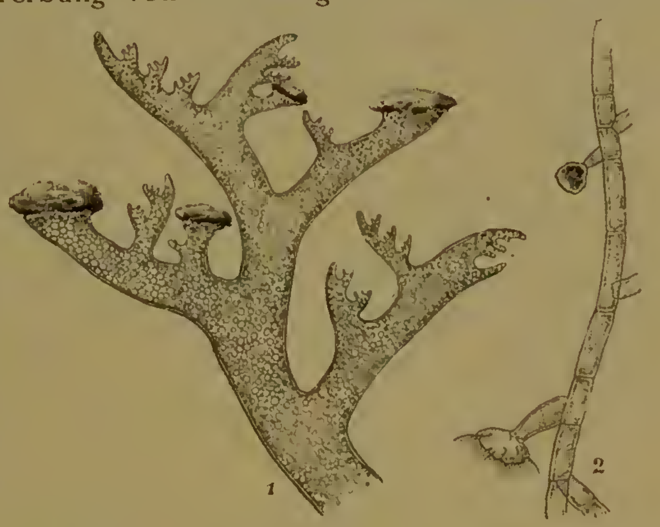


Abb. 22.
Regulativ gebildete Haftorgane von Algen. 1 = *Plocamium coccineum.* Enden einiger Äste in Haftscheiben umgewandelt. 2 = *Spermothamnion flabellatum.* Kriechender Sproß mit Haftscheiben. (Nach Oltmanns.)

Formative Regulationen sind auch die Vorgänge des gleitenden Wachstums, das den inneren Bau der Pflanzen in hohem Maße bestimmt, gewissermaßen die feinere Zurechtrückung und Anpassung der Formelemente besorgt, nachdem sich die

[2]) Vgl. F. v. Höhnel, Über Kork und verkorkte Gewebe überhaupt (Sitzungsbericht d. Wiener Akademie d. Wissenschaften 1877).

Organsysteme im Großen hergestellt haben. Man versuche es irgendwie selektionistisch oder sonstwie durch rein physikalische Verursachung zu erklären, daß z. B. sich die Milchröhren vieler Gewächse, die sich erst dann bilden, wenn die Gewebe bereits hergestellt sind, ihren Platz, von dem ihre Funktion abhängig ist, durch Einzwängen in schon fertiges Gewebe erobern, und man wird zugestehen müssen, daß auch hier die Botanik nicht ohne die Annahme einer Spontaneität der Pflanze auskommen kann, die man zwar mit vielerlei Namen, aber stets nur mit solchen hat belegen können, die eine Umschreibung psychischen Geschehens in sich schließen.

Formative Regulation von der gleichen Verursachung ist es, wenn sich die Blattstellung, wie uns Wiesner belehrt hat (vgl. S. 21), nach den Bedürfnissen der Lichtraumnutzung der Blätter richtet; eine formative Regulation von größter Folgenschwere war es, daß die Blütepflanzen, zweifelsohne ursprünglich alle Windblütler, dazu übergingen, den stäubenden Pollen in wahren, d. h. klebrigen Pollen umzuwandeln, wofür keinerlei physikalisch-chemische Nötigung erkannt werden kann, was sich schon Nägeli klarmachte.

Eine Regulation von vielsagender Merkwürdigkeit hat vor kurzem G. Tischler beobachtet, als er an Bohnenpflänzchen die Spitze der Hauptwurzel abschnitt.[1]) Nach wenigen Tagen geschah dasselbe, was von geköpften Tannen gemeinbekannt ist, an denen sich dann gewöhnlich sogar mehrere Seitentriebe aufrichten und die Führung des Wachstums übernehmen. Aber nicht diese längstbekannte Regulation, an deren Erklärung auch jedweder Mechanismus scheitert, war sein Hauptergebnis, daß also die beschädigte Hauptwurzel aus den Funktionen ausgeschaltet wurde, und eine der vorher für die Schwerkraft kaum empfindlichen Nebenwurzeln nun schnurstracks in die Tiefe wuchs, sondern daß sie sich mit dem neuen Sinnesorgan ausstattete, das sie zu den neuen Funktionen bedarf. Schon vorher enthielten ihre Zellen Stärke, doch war diese unregelmäßig verteilt und lagerte meist um den Zellkern herum. Als aber die Nebenwurzel ihre neue Funktion ausübte, nahmen die Stärkekörner durch plötzliches Wachstum dermaßen an Gewicht zu, daß sie in den Zellen „zu Boden" sanken und so einen funktionstüchtigen Statolithenapparat darstellten.

[1]) Vgl. G. Tischler, Über das Vorkommen von Statolithen bei wenig oder gar nicht geotropischen Wurzeln (Flora 1905).

Außer den so außerordentlich zahlreichen formativen Regulationen, von denen man mit Recht sagen kann, daß sie schon heute zu Hunderten bekannt sind, ergänzt sich das Beweismaterial unserer Hypothese vornehmlich aus den nicht minder zahlreichen chemischen Regulationen. Auch hier wollen wir uns nur auf einige wenige Beispiele beschränken, unter Hinweis auf mein Hauptwerk, worin sich derartige kritische Analysen reichlich finden.

Am vielsagendsten erscheinen unter den chemischen Regulationen der Kryptogamen drei unbezweifelbare Fälle: die Farbstoffbildung der Oszillarien, regulative Enzymbildung bei Pilzen und die Fortpflanzungsverhältnisse der *Splachnum*moose.

Die ersterwähnte Erscheinung ist von Gaidukov[1]) eingehend studiert worden. Seit ihm wissen wir, daß sich die Farbstoffe der Oszillarien (und das gleiche gilt wohl auch für Fukoiden und Florideen) unmittelbar verändern je nach der Strahlenart, die sie chemisch auszunützen haben. Die regulative Enzymbildung von *Penicillium glaucum*, mit der uns Fr. Czapek[2]) bekannt machte, gewährt deshalb einen besonders lehrreichen Einblick in die regulatorische, d. h. wahlfähige Lenkung der chemischen Vorgänge im Pflanzenkörper, da dieser Pilz sonst das beobachtete Enzym schon deshalb nicht zu bilden pflegt, weil er gewöhnlich auf faulenden organischen Stoffen als Saprophyt lebt, sich also der Holzstoff spaltenden Enzyme gar nicht zu bedienen braucht. Czapek beobachtete nämlich, daß dieser Pilz bei Kultur auf Holz die Hadromase erzeugt, durch die obligate Holzparasiten, wie z. B. der gewöhnliche Hausschwamm, das Holz zu zersetzen pflegen. Der Verfasser meint selbst, daß hier ein regulatorischer Vorgang festgestellt sei (S. 170), und von so ausgesprochen mechanistisch-antipsychistischer Seite, wie Detto in seinem Werke über die Theorie der direkten Anpassung, wird die Erscheinung im Vergleich zu manchen der hier vorgeführten so überschätzt, daß zugegeben wird: „Diese . . . Tatsache ist vielleicht die einzige, die der kausalen Deutung Schwierigkeiten machen könnte.“[3])

[1]) Vgl. H. Gaidukov, Die Farbenveränderung bei den Prozessen der komplementären chromatischen Adaptation (Berichte d. deutsch. bot. Ges. 1903).

[2]) Vgl. F. Czapek, Zur Biologie der holzbewohnenden Pilze (Berichte d. deutsch. bot. Ges. 1899).

[3]) C. Detto, Die Theorie der direkten Anpassung. Jena 1904, S. 92. Wobei der Verfasser nach seiner Terminologie als „kausale Deutung“ nur eine mechanistische zuläßt.

Detto sucht sich der Schwierigkeiten, die dieser Fall für seinen dogmatischen[1]) Standpunkt bietet, dadurch zu entledigen, daß er es erstens anzweifelt, ob die Hadromasebildung bei dem in Frage stehenden Pilz wirklich zum erstenmal aufgetreten sei, und dann (S. 93) den für die Mechanistik ja sehr kennzeichnenden Satz wagt: „angenommen, daß dieses Enzym vollkommen identisch wäre mit der Hadromase der eigentlichen Parasiten, was aus den Untersuchungen von Czapek nicht hervorgeht, so gäbe es für die kausale Deutung dieses Vorkommnisses nur die Möglichkeit, einen Zufall anzunehmen."

Zum Glück braucht die Wissenschaft dieses sacrifizio del intelletto nicht mitzumachen, da auch hier nur die logische Fragestellung verschoben ist. Vor allem ist es zur Beurteilung der Sachlage keineswegs nötig, die absolute Identität der typischen Hadromase mit dem *Penicillium*-Enzym festgestellt zu haben (sie ist gar nicht wahrscheinlich in Anbetracht der A. Gautierschen Untersuchungen). Sondern worauf es ankommt, ist, daß ein echter Saprophyt bedürfnismäßig einen Chemismus einleitet, der ihn am Leben erhält. Das Regulative seiner Molekularbewegungen, das ist das Problem. Und das hat Detto wohl empfunden, daß angesichts dieser Frage Mechanistik am Ende ihres Witzes sei. Darum appelliert er an den Zufall, d. h. er verzichtet auf wissenschaftliches Denken.

Zwischen dem Substrat und der chemischen Arbeit des Pilzes, der von diesem Substrat leben muß, besteht ein logischer Zusammenhang, derselbe, den Leisewitz vor kurzem zwischen der Beschaffenheit der Borsten von in Holz lebenden Insektenlarven und der Beschaffenheit des Holzes aufdeckte, derselbe, den menschliche Intelligenz stets herstellt, wenn sie einen Zweck zu erreichen sucht. Wenn also dermaßen alle anderen Erklärungsmittel versagen, wie es uns die mechanistische Seite bezeugt, dann sieht sich die Wissenschaft doch gezwungen zu der Annahme, daß, da die Bedingungen und Effekte des Geschehens sich erforschen lassen und sich identisch erweisen mit denen einer Intellekthandlung, dem Geschehen auch eine solche zugrunde liegen müsse.

[1]) Der Ausdruck dogmatisch ist nicht übertrieben, da dieser Autor es der Biologie verbietet, andere als physikalische Gesetze zur Erklärung heranzuziehen. Er und alle, die mit ihm psychisch mit metaphysisch gleichsetzen, zerlegen also den Menschen in einen natürlichen und übernatürlichen Bestandteil, was geradezu ein Preisgeben ihrer Wissenschaftlichkeit zu nennen ist.

Nicht weniger klar liegen die Verhältnisse im Fa le der Gattung *Splachnum*; ja, sie liegen hier so einzigartig, daß ich in ihm eines meiner wirkungsvollsten Beweisstücke erblicke.

Das Moos *Splachnum* ist bekanntlich dermaßen an tierische Exkremente spezialisiert, daß die drei deutschen Arten aus unserer Flora mit dem Rückgang der Weidewirtschaft geradezu aussterben. Dadurch ist zur Genüge bezeugt, daß sie anderswo als auf Rinddünger nicht leben können. Diese Spezialisierung hat nun aber auch ganz eigenartige biologische Anpassungen nach sich gezogen, über die in neuerer Zeit von Bryhn[1]) eine Sonderuntersuchung vorliegt, nachdem Ruthe in den Verhandlungen des botan. Vereins der Provinz Brandenburg schon im Jahre 1867 das Wesentliche darüber festgestellt hat.

Durch diese Forscher wissen wir von folgender Sachlage: Alle Laubmoose der nahestehenden Familien erzeugen pulverige, trockene, der Windverbreitung angepaßte Sporen, *Splachnum* dagegen klebrige Sporen. Die Moospflanzen sind durchweg geruchlos, bzw. nur von jenem geringfügig ätherischen Geruch, den man als Moosgeruch kennt. *Splachnum* zeichnet sich durch einen durchdringenden Brombeerengeruch aus. Dieser Duftstoff wird jedoch nicht stets, sondern regulativ abgesondert, nur zur Zeit der Sporenreife. Und er hat die Wirkung, daß die Mooskapseln von *Splachnum* von fernher von Fliegen beflogen werden, die auf Kuhdünger ihre Eier ablegen. Auf diese Weise ist die Verbreitung des Mooses auf seinem ihm zusagenden Nährboden gewährleistet.

Diesem ganz wunderbaren Zusammenhang steht eine physikalische Erklärungsweise nicht weniger ratlos gegenüber wie den regulativ erzeugten Pilzenzymen. Die Selektionsformel: wer zweckmäßig eingerichtet war, blieb übrig, setzt das zu Erklärende bereits voraus und müßte sich, um über ihre erste Schwierigkeit (die Aktivität zu erklären) hinwegzukommen, auch der Unwissenschaftlichkeit, nämlich der Annahme eines Zufalls, in die Arme werfen. Zu erklären ist jedoch an Aktivitäten: 1. die klebrige Beschaffenheit der Sporen, 2. die Ursache der Absonderung eines biologisch wirksamen Duftstoffes, 3. die Regulation, die in der Wahl des allein biologisch wirksamen Zeitpunktes der Duftstoffabsonderung liegt.

[1]) Vgl. Bryhn, Das Ausstreuen der Sporen bei den Splachnaceen (Biologisches Zentralblatt 1897).

An diesen Tatsachen läßt sich nicht zweifeln; Physik versagt bei ihrer Erklärung, es bleibt also nur zu untersuchen, ob psychische Kausalität die Geschehensfolge widerspruchslos verbindet. Wir müssen dabei von vornherein gestehen, daß die Deutung derartig blütenbiologischer Phänomene nicht immer so einfach ist, wie die der bisher analysierten formativen Regulationen, ja wir wollen es gar nicht verhehlen, daß mangels jener eindringenden experimentellen Analyse blüten- und fruchtbiologischer Anpassungen, wie sie die Physiologie auf ihrem sonstigen Gebiete so glänzend geleistet hat, die größten Schwierigkeiten sich unserer Hypothese gerade hier entgegenstellen. Aber das ist eben nur ein Mangel an Kenntnissen, der sich mit jeder neuen experimentellen Arbeit in unserem Sinne verbessern läßt. Wenn manche Forscher, wie G. Wolff oder R. Semon, unserer Lehre deshalb Wert absprechen, weil sie noch nicht diesen schwierigsten ihrer Aufgaben gewachsen ist, so sprechen sie dem Kinde die Existenzberechtigung ab, weil es noch nicht die Arbeit eines Erwachsenen leistet.

Wenn man jedoch im gegebenen Fall nur die geringsten Annahmen im Sinne der psychologischen Hypothese macht und der Moospflanze die durch so vieles gerechtfertigte Fähigkeit zuspricht, den Reiz krabbelnder Dungfliegen, die sich auf dem auffällig gefärbten Sporogon jederzeit einfinden konnten, zu empfinden, so ist schon die Maschinerie in Bewegung gesetzt, welche die Pflanze zu Aktivitäten veranlassen kann. Diese entbehren allerdings nicht den urteilenden Faktor, ohne den aber überhaupt keine der lebenerhaltend ablaufenden Aktivitäten zu verstehen ist. Die Analogie mit einer Intellekthandlung auf Grund von Erfahrungen ist auch hier vollkommen, und wenn daran etwas bedenklich stimmen kann, so ist es keinerlei logische Unmöglichkeit, kein Widerspruch mit erkannten Naturgesetzen, sondern nur der Grad des Intellektes, den unsere Hypothese für das Blütenleben der Pflanzen fordert. Aber auch da sind gerade wieder im übrigen Kreis der Natur hunderterlei Belege da, daß höchste und niederste Tiere, die menschliche Mutter wie das kleinste Insekt, unerschöpflich sind in Mitteln zur Sicherung des Kindes. Wenn uns die Höhe des Instinktes in Erstaunen versetzt, der sich im Tun einer Mordwespe ausspricht, die zu ihrem Ei gerade so viel passend gelähmte Raupen einträgt, als ihr Junges zur Nahrung braucht, bis es selbständig sein Leben fristen kann, oder wenn wir sprachlos

sind, angesichts des Lebenslaufes der Gallmücke, *Oligotrophus Reaumurianus*, die ein Lindenblatt veranlassen kann, Gallen zu bilden, die selbsttätig die Innengalle mit der eingeschlossenen Mückenlarve entleeren, sie schützen und befreien, worauf die geschlechtsreife Mücke aus bloßer vererbter Erfahrung die *Tilia grandifolia*, an die ihr Leben gebunden ist, wiederfindet — dann werden wir auch die Analogie zwischen Tier- und Pflanzenleben gelten lassen müssen, daß in der Pflanze die Fortpflanzungstriebe gleichfalls zu einer besonderen Höhe oder vielleicht nur Komplikation des Psychischen gediehen sind. Wir werden sogar einen neuen Beleg für die Richtigkeit unserer Denkungsart darin sehen müssen, daß die Pflanze sich auch in diesem Punkte nicht vom Tiere unterscheidet.

Eine physiologische Analyse der blütenbiologischen Erscheinungen wurde ja noch niemals vorgenommen. Die wenigen Versuche, zu ihren Ursachen vorzudringen, haben gerade die ersten Namen der Blütenbiogie, einen H. Müller, Kerner v. Marilaun, F. Delpino, F. Ludwig, ausnahmslos[1]) zu pflanzenpsychologischen Annahmen geführt. Da haben wir denn allen Grund zu behaupten, daß wenn erst dieses Problem experimentell in Angriff genommen ist, es geradezu den Triumph und die Stärke der Pflanzenpsychologie darstellen wird. Hier eröffnet sich eine Fülle der wertvollsten Naturforscherarbeit.

Einen schwachen Versuch in dieser Richtung habe ich mit Experimenten über die Reizverwertungen der Blüte von *Parnassia palustris* unternommen. Ihre Darstellung würde jedoch augenblicklich den Faden unserer Deduktionen verwirren, weshalb wir erst später darauf zurückkommen wollen.

Belege für chemische Regulationen im Körper der Blütepflanzen sind älteren und neuesten Untersuchungen in reicher Zahl zu entnehmen. Das ganze Kapitel der biologischen Stoffe gehört hierher, von denen W. Pfeffer offen erklärt: „Sicherlich werden .... Gerbstoffe, Glykoside usw. nicht als Nebenprodukte, sondern

[1]) Vgl. diesbezüglich Kerner, Pflanzenleben, — Delpino, Ulteriori osservazione sulla dieegamia. — Ludwig, Lehrbuch d. Biologie d. Pflanzen. In dem letzteren Werk ist auch die letzte Äußerung H. Müllers (Lippstadt) zitiert, die diesen Autor zum ausgesprochenen Pflanzenpsychologen stempelt, wodurch gewisse Behauptungen von ultraselektionistischer Seite, welche Müller für sich reklamieren, genügend gekennzeichnet sind.

für bestimmte Ziele und Zwecke formiert“[1]), womit er eine Zwecksetzung durch die Pflanze, also ihren Intellekt, anerkennt. Namentlich die Produktion von Farbstoffen mit biologischer Rolle in Blüten, Blättern und Früchten, die sich zu ganz bestimmter Zeit an ganz bestimmten Stellen, teilweise sogar ganz unabhängig vom Licht (wie in den Blüten von *Tulipa Gesneriana*) einstellt, verrät diese Zwecktätigkeit der Pflanze so offen, daß es späteren Zeiten unbegreiflich scheinen wird, weshalb man daraus nicht ohne weiteres die Notwendigkeit einer Pflanzenpsychologie ableitete. Überhaupt macht das ganze Wesen und die Beschaffenheit der Pflanze es immer wieder im höchsten Grade verwunderlich, wie man jemals gegen den aus ihr hervorleuchtenden Intellekt blind sein konnte. Es wird eine Zeit kommen, die den jetzt zu Ende gehenden „reinen Mechanismus“ als eine der größten Verirrungen der Botanik einschätzen wird.

Schon die ersten Untersuchungen, welche die Absonderung von eiweißzerlösender Protease aus den Verdauungsdrüsen der insektenfressenden Pflanzen bei Anwesenheit von Eiweiß und die Verweigerung dieser Sekretion ohne Eiweiß klarmachten, hätten diese Entscheidung herbeiführen müssen. Ch. Darwin hat denn auch in seinem Briefwechsel *Drosera* mit Recht als „scharfsinniges Tier“ angesprochen. Trotzdem muß die nächste logische Folgerung aus dieser Anerkennung noch ein Menschenalter nach Darwin schwer um ihre Zulassung kämpfen!

Besondere Beweiskraft sind wir auch gezwungen, den

Regulationshandlungen

zuzuschreiben, worunter wir sowohl spontan eingeleitete vegetative Wachstumsbewegungen als auch animale Reizbewegungen zum Ausgleich ungünstiger Zustandsänderungen verstehen. Aus dem reichen Material sollen hier nur drei Fälle hervorgehoben werden.

Der merkwürdigste davon ist die Phototaxie gewisser farbloser, freibeweglicher Algenpilze, die Nowakowski bei *Polyphagus Euglenae*, Strasburger bei *Chytridium vorax* und Rothert bei einem nicht näher bestimmten *Bodo* entdeckten[2]). Alle diese folgen den Ortsveränderungen ihrer Opfer (nämlich *Euglenen*,

[1]) W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, I. Bd., II. Aufl., S. 493.

[2]) Vgl. W. Rothert, Beobachtungen und Betrachtungen über taktische Reizerscheinungen (Flora 1901, S. 372).

Haematococcus und *Chlamydomonas*), die aus Assimilationsbedürfnis beleuchtete Wasserstellen aufsuchen. Wenn Rothert von diesem Verhältnis sagt (S. 372): „Hier liegt eine Anpassungserscheinung mit Nutzen vor, die aus Bedürfnis entstand", so hat er damit die einzig mögliche Erklärung gekennzeichnet. Dies bedeutet aber nichts anderes, als die Anerkennung selektiver Reizverwertung mit allem, was psychisch darin beschlossen ist, oder mit anderen Worten: der gleichen, von mir und Molisch an ins Dunkel geratenen Euglenen beobachteten Suchbewegungen (vgl. S. 34), die nämlich auch unter die Überschrift der Regulationshandlungen fallen.

Nicht weniger klar zutage liegt auch das von uns Gesuchte in einer der wichtigsten Regulationshandlungen der Blütepflanzen, nämlich in der alljährlichen Verkürzung ihrer Wurzeln, wodurch sie erzielen, daß ihre Zwiebeln, Knollen, Wurzelstöcke usw. immer in der gleichen Tiefenlage bleiben, trotzdem sie wachsen. Die Erscheinung, vielfach, von De Vries, Massart, Rimbach und anderen, studiert[1]), dauert etwa 2—3 Wochen und erreicht eine Verkürzung von 10 bis 70 % der Wurzellänge. Mit Recht sagt darüber Pfeffer: „Damit aber eine konstante Tiefenlage erreicht und erhalten wird, bedarf es bei diesen wie bei anderen auf das gleiche Ziel berechneten Operationen einer regulatorischen Lenkung der Aktionsmittel. Dem wird in unserem Falle damit genügt, daß unter den in den tieferen Bodenschichten herrschenden Bedingungen die Zugwurzeln nicht mehr entstehen, oder daß sie eine horizontale Wachstumsrichtung einschlagen." [2])

Daß aber hierbei eine wahre Regulations**handlung** vorliegt, geht aus den Untersuchungen von Berthold an dem das gleiche Phänomen an seinen Rhizoiden zeigenden Tange *Antithamnion* hervor, da dieser Autor die hierzu angewandte aktive Formänderung lebendiger Zellen unmittelbar beobachtete. Und das Spezifische, Bedürfnismäßige des Vorganges wird endlich dadurch bezeugt, daß (nach Went) Luftwurzeln derartige Verkürzungen nicht aufweisen. Das alles zusammen schließt jede Möglichkeit aus, hier durch Anwendung bloß physikalischer Gesetze zu einer Erklärung zu gelangen.

[1]) Vgl. die zusammenfassende Arbeit von Rimbach in Fünfstücks Beiträgen zur wissenschaftl. Botanik. 1897.

[2]) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. II, S. 16.

Das gleiche gilt für den von Massart[1]) beobachteten Vorgang an der Balsamine (*Impatiens*), die nach Verletzung ihres Stengels die Wunde nicht heilt, sondern, indem sie im nächsten unteren Knoten abtrocknet, sich genau so selbst amputiert wie ein verletzter Regenwurm.

Da dies jedoch bei ganz geringfügigen Verletzungen nicht eintritt, sondern sich in diesem Fall normaler Wundkallus bildet, haben wir hier zugleich einen regulativen Fall jener von De Vries aufgestellten Dichogenie vor uns, in der dieser Autor der Pflanze eine „Wahl" zwischen zwei Möglichkeiten erlaubt[2])!

Dadurch ist ein Übergang geschaffen zu jenen Erscheinungen einer elektiven Regeneration, die wir jedoch gemäß unserer Einteilung einem besonderen Abschnitt unserer Untersuchung zuteilen müssen.

3. Regenerationen.

Schon Driesch hat in seiner scharfsinnigen Analyse der regulativen Vorgänge wohl erkannt, daß das Wiederherstellungsvermögen der Pflanze nach Verletzungen einer Wahl der Mittel fähig sei. Er sagt darüber[3]): „Ein äußerst charakteristisches Licht auf die Verschiedenheit der Wege, über die der Organismus zu seinen Ersatzleistungen verfügen kann, bietet das Studium der Wurzelverletzungen uns dar; wird die Wurzelspitze sehr weit distal abgeschnitten, so ergänzt sie sich durch Regeneration, wie auch längsgespaltene Wurzeln der echten Regeneration fähig sind; wird der Schnitt weniger weit distal geführt, so bilden sich aus einer Kalluswucherung Ersatzwurzeln, geschieht er dagegen noch weiter proximal, im Bereich der Nebenwurzeln, so tritt ein Geschehen ein, welches begrifflich richtiger im vorigen Abschnitt zur Sprache gekommen wäre; eine der zunächst gelegenen Seitenwurzeln ändert ihre geotropische Reizbarkeit infolge der Operation . . . und ersetzt damit die Hauptwurzel, ebenso wie ein Seitenzweig den entfernten Gipfelsproß der Fichte ersetzen kann."

Allerdings wird man von seiten des extremen Mechanismus sofort den Einwand hervorholen, in dieser Variabilität der Antwortreaktion sei nichts erkannt, was über den Begriff der System-

[1]) Vgl. J. Massart, La cicatrisation chez les végétaux. 1898.
[2]) H. De Vries, Intracellulare Pangenesis. 1889, S. 13.
[3]) H. Driesch, Die organischen Regulationen. S. 39.

bedingungen hinausführe. Und da die Art der Antwort durch den Ort der Verletzung bedingt wird, ist das gewählte Beispiel wirklich nicht geeignet, diesen Einwand einfach und klar zu widerlegen. Man vergesse aber nicht, daß wir den Begriff der Systembedingungen sehr wohl annehmen. Die Pflanze entbehrt offenkundig solche nicht, ihr Geschehen ist abhängig von ihrer Vergangenheit (phylogenetisch ererbtes Kapital) und dem Vorhandensein von Mitteln und Erfahrungen. Was unsere Arbeit zu leisten hat, und wovon unsere Hypothese abhängt, das ist der Nachweis, daß die Pflanze autonom ihre Systembedingungen ändern, sie variieren kann! Und das haben wir gezeigt, als wir ihre Bewegungswahl nachwiesen (die offenbar auf Grund früherer Erfahrungen erfolgt). Das ist die wahre und große Bedeutung des Suchens von *Euglena*, der koordinierten Bewegungen von *Drosera* und *Geranium*, der Ergebnisse von Heineek und Köhler usw.

Man muß hier fein unterscheiden. Gegenüber dem landläufigen Mechanismus, der sich auf deskriptive Analogien zwischen lebendem und physikalischem Geschehen beschränkt, genügt es zum Nachweis seiner Unzulänglichkeit zu zeigen, daß die Pflanze ihren Mechanismus spontan in Bewegung zu setzen und zu steuern vermag. Das tut die unbelebte Materie nicht, darum ist der physikalische Analogieschluß hinfällig angesichts der Spontaneität, die aus dem gleitenden Wachstum oder dem Saisondimorphismus oder funktionellen Anpassungen zu entnehmen ist. Noch nicht widerlegt ist aber durch solche Beispiele die subtilste Art des Mechanismus, nämlich der Theismus (ganz abgesehen von seiner fundamentalen Unzulässigkeit als wissenschaftliche Methode), denn er kann immer noch damit operieren, daß der Maschinenbauer der Welt bei den organischen Maschinen derartiges vorgesehen und eine Regulationsfähigkeit in sie als Maschinenbedingung so hineingelegt habe, wie wir selbststeuernde Vorrichtungen bei unseren Maschinen vorsehen. Wenn unsere wissenschaftlichen Mechanisten jedoch gezwungen werden, ihre Behauptungen bis zum letzten Ende zu verfolgen, müssen sie auf wissenschaftliches Forschen verzichten, wie es vor kurzem in der Naturwiss. Wochenschrift vorbildlich gezeigt wurde, da in einer Polemik gegen den Psychismus ihr Verfasser sich darauf zurückziehen mußte: es gebe allerdings in der Welt der Organismen Vorgänge, „die sich nach

Analogie zweckmäßiger Handlungen vollziehen, aber zurzeit noch nicht befriedigend gedeutet werden können".[1]) Dieser feinere und echt metaphysische (denn er führt unerforschliche Faktoren in die Forschung ein) Mechanismus wird nur dadurch unmöglich, wenn freie Wahlfähigkeit in den Organismen aufgedeckt wird, wie wir das im bisherigen taten.

Aber man vergesse nicht: damit ist nichts Positives errungen, sondern es sind erst Irrtümer abgewiesen, und der Weg freigemacht. Der Psychismus ist zwar dadurch insofern gerechtfertigt, als er als die allein übrigbleibende Möglichkeit erkannt ist. Das ist aber kein positiver Beweis. Einen solchen schaffen wir erst dann herbei, wenn wir in dem organischen und psychischen Geschehen Abläufe von identischer Gesetzmäßigkeit erkennen.

Dies zu leisten, bleibt uns noch übrig. Es ist nicht unmöglich, es durch Analyse des pflanzlichen Wiederherstellungsvermögens zu erzielen, wenn das auch nicht der klassische Boden hierfür ist.

Aus dem Regenerationsvorgang hat man schon vor uns auf die Spontaneität der Pflanze geschlossen. Schon die klassischen alten Untersuchungen von Vöchting[2]) haben dafür alles Nötige beigebracht. Wenn er ein junges, noch wachsendes Endstück von *Heterocentron diversifolium* mittels zwei Fäden horizontal aufhängte, orientierte es sich an den Schwerkraftempfindungen und krümmte sich mit beiden Enden nach aufwärts. Hängte man dieses gekrümmte Stück nun so auf, daß es mit der konkaven Seite nach unten gerichtet war, so erschienen neue Laubknospen meist nur an der Spitze, selten auch an den oberen Partien des basalen Schenkels. Hing man die Stücke dagegen so auf, daß sie mit der konkaven Seite nach oben gerichtet waren, dann bildeten sich die Laubknospen wieder nur an der Spitze, selten an den unteren Teilen des basalen Schenkels. Vöchting zog hieraus notwendig den Schluß, hier wirke außer der Schwerkraft noch etwas, das er „innere Kraft" nannte und sich so zurechtlegte, daß das Plasma durch diese Kraft an die betreffenden Stellen ströme und dort Neubildungen veranlasse. Diesen inneren Faktor hat man seitdem

[1]) Vgl. Naturwissenschaftl. Wochenschrift 1908, S. 192.
[2]) Vgl. H. Vöchting, Über Organbildung im Pflanzenreiche. 1878.

bei Regenerationen immer wieder festgestellt, verschiedentlich benannt (Potenz, Disposition, Polarität), aber nie auf sein Wesen hin analysiert. Nur über das eine wurde man sich klar, wie sich Morgan ausdrückt:[1]) „Die Art von Polarität, die sich bei Tieren und Pflanzen manifestiert, hat jedenfalls nichts mit den sogenannten Kräften zu tun, mit denen der Physiker operiert."

Es würde uns zu weit führen, die ungeheure Literatur der pflanzlichen Ersatzreaktionen auf Einzelbeispiele hin durchzugehen; nach unserem Beweismaterial bedürfen wir es auch gar nicht mehr. Den Kernpunkt, worauf alle Erklärung der pflanzlichen Regenerationen zurückkommt, hat schon Morgan klar erkannt, wenn er sagt: „Die Hauptfrage, die Erklärung beansprucht, ist nicht die, warum (bei der Regeneration) eine Reihe bis dahin latenter Knospen auszutreiben beginnt, sondern, warum sie es in einer ganz bestimmten Ordnung tun. Und zweitens, warum und wieso es zur Entwicklung von Neubildungen in Gegenden kommt, wo präformierte Anlagen nicht vorhanden waren". [2])

Daß die Pflanze dies leisten kann, bedeutet offenbar eine Änderung ihrer Systembedingungen, was nie einer Maschine zuzutrauen ist. Und das ist für uns der springende Punkt. Die neuere Analyse des Regenerationsverlaufes bei Pflanzen, die wir Simon[3]) verdanken, hat ergeben, daß sich jede Wiederherstellung in drei Phasen zerlegen läßt: in die Reaktionszeit, während der sich die inneren Vorgänge in der Pflanze, die das Geschehen bestimmen, abspielen, in die Einleitungsphase und in die Ausgestaltung. Dieser Verlauf ist durchaus analog mit den Phasen einer durch Wahrnehmungen ausgelösten Handlung, und so entsprechen auch die Regenerationen völlig den Forderungen unserer Hypothese. Ganz abgesehen davon, daß nur durch sie die Begriffe Potenz, Polarität und innere Disposition befriedigenden, nicht metaphysischen Sinn erhalten.

Damit sind wir nun zu unserer letzten und höchsten Aufgabe vorgedrungen. Wenn

---

[1]) Morgan, Ph., — Moszkowski, M., Regeneration. 1907, S. 108.

[2]) Morgan, op. cit. S. 119.

[3]) Vgl. S. Simon, Untersuchungen über die Regeneration der Wurzelspitze (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1904).

nachzuweisen sind, haben wir die letzte Möglichkeit einer prinzipiellen Ablehnung unserer Hypothese beseitigt, ja sogar ihre Wahrscheinlichkeit bis zur Evidenz erhöht.

Solche Übereinstimmungen sind nun in der neuesten botanischen Literatur bereits mehrfach aufgedeckt worden, und bevor wir an ihre Zusammenfassung schreiten, wird es zweckmäßig sein, dieses Tatsachenmaterial kritisch zu prüfen.

Eine der am ältesten bekannten derartigen Erscheinungen ist die Anästhesierung der Pflanzen. Schon 1847 hat F. W. Clemens darüber berichtet, daß die bekannten Bewegungen der *Mimose* nach Ätherisierung sistiert werden. 1902 hat W. Johannsen[1]) diese Untersuchungen wieder aufgenommen, und er scheut sich nicht, auf Grund ihrer Ergebnisse von Rausch und Betäubung der Pflanzen zu reden. Weitere Versuche in dieser Richtung verdanken wir W. Rothert[2]), und zwar setzt erst mit ihnen das für unsere gegenwärtigen Zwecke Brauchbare ein, da Johannsen nur die Möglichkeit von Funktionshemmungen durch Alkohol und Äther nachwies, während sich Rothert nun die Frage stellte, welche Funktionen im Pflanzenkörper durch Narkotika zeitweilig sistiert werden können. *Euglenen* und Algenschwärmer finden nach ihm in Ätherwasser nicht mehr ihre richtige Einstellung zum Lichte, verlieren aber ihre Beweglichkeit nicht. Bakterien büßen ihre chemotropische Einstellung ein. Damit ist mindestens erwiesen, daß im pflanzlichen Protoplasma die Perzeption von der Reaktion getrennt sei. Rothert zieht daraus auch mit Recht die Folgerung, es gehe nach solchen Erfahrungen nicht mehr an, die Reizbewegungen der niedersten Organismen auf grobmechanische Weise, nur durch Kohäsion, Spannungswirkungen u. dgl., erklären zu wollen.

Besonders lehrreich für uns sind nun ältere Angaben von Elfving[3]), aus denen hervorgeht, daß 1—2 % Alkohol bei

[1]) Vgl. W. Johannsen, Über Rausch und Betäubung der Pflanzen (Naturwissenschaftl. Wochenschrift 1902).

[2]) W. Rothert, Über die Wirkungen des Äthers und Chloroforms auf die Reizbewegungen der Mikroorganismen (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1903).

[3]) F. Elfving, Die Einwirkung von Äther und Chloroform auf die Pflanzen (Ofvers. af Finsk. Soc. 1886).

Mesocarpus die allbekannte Einstellung der Chlorophyllplatte nach dem Lichte stört. Ich habe dies an *Mougeotia* nachgeprüft und kann es bestätigen.

Da diese Algen durch geringfügige Alkoholdosen die Koordination der Bewegung ihres Chlorophyllkörpers verlieren und allerlei unzweckmäßige Einstellungen vornehmen, die richtige aber binnen einem Tage wiederfinden, so darf hier wohl mit besonderem Recht von Rausch gesprochen werden. Damit ist eine Übereinstimmung von größter Überzeugungskraft mit den entsprechenden psychophysischen Phänomenen des Menschen erbracht.

Übrigens hat H. Schröder allerneuestens auch bei höheren Pflanzen gefunden, daß Äther zunächst anregend, dann lähmend wirkt.[1])

Ein weiteres Analogon, das nicht verfehlen wird, Zweifel an der Richtigkeit unserer Hypothese zu beseitigen, findet sich in einer neueren Arbeit von G. Haberlandt[2]), die zur Nachprüfung der Rotationsversuche angestellt wurde, mittels deren Piccard die Lokalisierung der Perzeption an der Wurzelspitze feststellen wollte. Hierbei rotieren die Wurzeln von *Vicia faba* 20—40 mal in der Sekunde, so daß Haberlandt mit Recht darauf hinweisen konnte, unter welch unnatürlichen Verhältnissen sich die Wurzeln hierbei befinden. „Es wäre nicht zu verwundern“, — heißt es bei ihm — „wenn infolgedessen die geotropische Reizstimmung ihrer einzelnen Teile einen Wechsel erfahren würde, wenn die normale Reizstimmung gewissermaßen in Verwirrung geriete, und analoge Erscheinungen auftreten würden, wie die, welche beim tierischen Organismus den ‚Drehschwindel‘ charakterisieren. Wenn der Schwindel nach Ebbinghaus auf einem Widerstreit von Lageempfindungen beruht, auf ‚Durcheinander und Gegeneinander der Empfindungen‘, dann sind die Voraussetzungen dazu für die Wurzel beim Piccardschen Rotationsversuch vollauf gegeben.“[3])

Und tatsächlich ergab sich bei diesem Versuch, daß zahlreiche Wurzeln „eine bestimmte Antwort verweigern und, auf den Klino-

[1]) Vgl. H. Schröder, Über die Einwirkung von Äthyläther auf die Zuwachsbewegung (Flora 1908).

[2]) G. Haberlandt, Über die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzel (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1908).

[3]) Haberlandt, op. cit. S. 584.

staten gebracht, sich entweder gar nicht krümmen oder — was häufiger der Fall ist — unregelmäßige Nutationen ausführen, die aber nichts anderes als anormale Reizkrümmungen sein dürften". (S. 584.)

Bei solchen Übereinstimmungen ist es dann einfach von vornherein zu erwarten, daß das psychophysische Grundgesetz von Weber-Fechner auch für die Pflanzen nicht versagt. Es ist in der Botanik gemeinbekannt, daß, seitdem 1884 W. Pfeffer die Gültigkeit dieses Gesetzes für die Reizbarkeit der Bakterien und Samenfäden der Farne für chemische Substanzen feststellen konnte,[1]) das gleiche auch vielfach für die Reaktionen der verschiedensten Pflanzen auf Licht- und Schwerkraftreize festgestellt wurde, so daß wir uns eingehendere Belege hierfür ersparen können.

Ein weiteres Gesetz der Psychophysik, das in der Wissenschaft als Plateau-Talbotsches Gesetz bezeichnet wird, ist jüngst von Nathansohn und Pringsheim[2]) für den Heliotropismus der Pflanzen, in anderer Formulierung auch von P. Fröschel[3]) als gültig erwiesen worden. Diese Untersuchungen über die Abhängigkeit der Präsentationszeit von der Lichtintensität bei *Lepidium sativum*, die den Satz ergaben, daß gleiche Energiemengen gleiche Erregungen hervorrufen, ergaben damit ein Gesetz, das auch für das menschliche Auge, bzw. für menschliche Empfindungen gültig ist. Desgleichen hat E. Pringsheim in seiner Arbeit über den Einfluß der Beleuchtung auf die heliotropische Stimmung nachgewiesen, daß die Stimmungsänderungen der menschlichen Netzhaut in wichtigen Punkten denen der heliotropischen Pflanze entsprechen, bei der auch Analoga der positiven Blendung da sind, wie sie das menschliche Auge zeigt beim Übergang vom Dunkeln ins Helle. Bei diesen Untersuchungen ergab sich zugleich, daß, da Präsentationswerte von 2 Sekunden, ja nach Fitting[4]) solche von minimalen Bruchteilen einer Sekunde (allerneuestens

---

[1]) W. Pfeffer, Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize (Untersuchungen a. d. botanischen Institut Tübingen I, 1884).

[2]) A. Nathansohn und E. Pringsheim, Über die Summation intermittierender Lichtreize (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1907).

[3]) Vgl. P. Fröschel, Über die Induktion des Heliotropismus (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908).

[4]) Vgl. H. Fitting, Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1905).

von Blamoo sogar von 1/1000 Sekunde), ermittelt wurden[1]), die Empfindlichkeit der Pflanzen, ebenso die Feinheit ihrer Unterscheidung eine ganz außerordentliche ist! So kann Fröschel mit Recht sagen (S. 345): „Was die pflanzlichen Bewegungen so schwerfällig macht, ist nicht etwa eine geringe Sensibilität der Organe, sondern der Mangel an besonderen Geweben für die Reizleitung und für das Ausführen der Reaktion. Nerven und Muskeln fehlen eben den Pflanzen. Und nur, wo für die Reizleitung eigens angepaßte Strukturen vorhanden sind, geht auch die Reaktion rascher vor sich (*Mimosa*)".

Über die durchaus auf psychische Vorgänge hindeutende Art dieser Reizleitung hat ferner durch sehr schöne Versuche Fitting aufgeklärt. Er stellt als ihr Ergebnis fest, daß schon in den Perzeptionszellen die Reizstimmung entsteht, die als Befehl durch alle „Parenchymzellen", im Notfall auch „um die Ecke" mit Hilfe der Plasmodesmen weitergegeben wird und in den reagierenden Zellen über die Richtung ihrer Zellteilungen entscheidet.[2]) Ganz besonders wertvoll für uns sind auch die Untersuchungen von E. Steinach über die Summation einzeln unwirksamer Reize[3]), die ergaben, daß *Euglena, Spirogyra, Nitella, Berberis, Mimosa,* also sowohl einzellige Algen wie höchstentwickelte Pflanzen, die charakteristische Fähigkeit in ganz besonderem Maße besitzen, einzeln unwirksame Reize zu summieren, was man bisher nur von Nervenelementen, speziell motorischen Ganglien, kannte!

Da das Summationsvermögen zugleich das feinste Reagens für Ermüdung ist, so konnten auch Ermüdungserscheinungen in der Reizbarkeit für Pflanzen einwandfrei festgestellt werden, nachdem solche bereits von Czapek[4]) vor mehr denn einem Jahrzehnt nachgewiesen wurden.

Diese experimentellen Erfahrungen machen es zur Gewißheit, daß die apperzeptionspsychologischen Fundamentalgesetze für den

---

[1]) Vgl. P. Fröschel, op. cit. S. 345.

[2]) Vgl. H. Fitting, Die Leitung tropischer Reize in parallelotropen Pflanzenteilen (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1907).

[3]) E. Steinach, Die Summation einzeln unwirksamer Reize als allgemeine Lebenserscheinung, I—II (Pflüger's Archiv der gesamten Physiologie 1908).

[4]) F. Czapek, Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen (Jahrb. f. wiss. Botanik 1898).

pflanzlichen Organismus gültig sind.[1]) Wie steht es nun mit der voluntaristischen Seite des von uns diskutierten Problems? Läßt sich experimentell-empirisch das Vorhandensein von Willensimpulsen, und sei es nur in Form einfachster Triebe der Pflanze, begründen? Wir haben diesen Beweis zwar im vorhergehenden an mehr als einer Stelle erbracht (vgl. S. 43), aber um den verschwenderischen Reichtum unserer Beweismittel recht einzuprägen, soll hier doch noch auf einige physiologische Erscheinungen verwiesen werden, angesichts derer jeder Mechanismus verstummen muß.

Am meisten hat bisher der Pflanzenpsychologie die im Verhalten der Wurzeln zutage tretende Wahlfähigkeit Anhänger geworben. Sie ist so vielfach erörtert, daß wir uns besonderer Zitate enthalten können. Es genüge, darauf hinzuweisen, daß sie sich sowohl als quantitatives Wahlvermögen wie als Qualitäten unterscheidende Fähigkeit kundgibt.[2]) Das Quantitative kann ja wohl unter Umständen durch diosmotische Gesetze erklärt werden, wie dies Pfeffer will, wenn auch er (S. 108) hierbei die „von der eigenen Tätigkeit der Pflanze herrührenden Bewegungen" nicht missen kann; trotzdem gelten dafür die Worte, mit denen ein neuerer Autor (P. Vageler)[3]) auf den Kern der Frage hinweist, wenn er sagt: „Was hilft es zu wissen, daß das Wahlvermögen der Pflanzen bedingt ist durch verschiedene Durchlässigkeit der einzelnen Schichten des Zelleibes für die einzelnen mineralischen Stoffe? Im Grunde nichts, wenn nicht bekannt ist, warum diese Verschiedenheiten bestehen."

Vor der qualitativen Wahlfähigkeit macht aber sogar der Versuch einer physikalischen Erklärung halt. Es ist ein für diese Forschungsrichtung nicht lösbares Problem, wenn saprophile Pilze wie *Aspergillus* und *Penicillium* bei gleichzeitiger Darreichung mehrerer organischer Stoffe fast stets denjenigen zuerst assimilieren, der den größten Nährwert besitzt.[4]) Oder wenn die sattsam bekannte *Vampyrella spirogyrae*, wie Cienkowski schon vor langen Jahren nachgewiesen hat, alle anderen ihr unterkommenden Faden-

[1]) Wenn W. Pfeffer an einer Stelle daraus, daß das Fechner-Webersche Gesetz im Pflanzenleben gültig sei, folgert: ergo sei es kein psychisches Gesetz, so ist damit die Wirklichkeit ohne logischen Grund auf den Kopf gestellt.

[2]) Vgl. darüber Pfeffers Pflanzenphysiologie, Bd. I, S. 102 ff.

[3]) P. Vageler, Die mineralischen Nährstoffe der Pflanzen. Leipzig 1908, S. 65.

[4]) Vgl. W. Pfeffer, Über Elektion organischer Nährstoffe (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik 1895).

algen verschmäht und allein *Spirogyra* anbohrt, oder wenn, wie ich gezeigt habe[1]), die Flagellate *Collodictyon triciliatum* alle anderen beweglichen Grünalgen mit Ausnahme ganz bestimmter Arten verschmäht. Wer an solchem Geschehen die zutage tretende Analogie zur Willensäußerung bei Tieren leugnet, muß sie als Instinkt erklären, in beiden Fällen also psychisch, was schon C. v. Bunge und A. Pauly gehörig verwertet haben.

Wenn die in Vermehrung begriffene Kolonie der *Pediastrum*-alge oder das Netz von *Hydrodictyon* seine ungeschlechtlichen Schwärmer entsendet, die nach einigen Stunden unruhigen Umherwimmelns sich spontan so zusammenlegen (Abb. 23), daß sich aus ihnen neue regelmäßige Kolonien, bzw. Netze bilden, wenn *Polysphondylium violaceum*, *Dictyostelium mucoroides* und andere Schleimpilze spontan durch Aneinanderhinaufkriechen und ein nach statischen Gesetzen stattfindendes Aufeinanderlegen ihrer Myxamöben regelrechte Fruchtkörper erbauen (Abb. 24), so ist damit vor aller Augen ein zwecktätiges Triebleben der Pflanzen so unbezweifelbar dargetan, daß es vollkommen unbegreiflich ist, wieso denn seit dem Bekanntwerden dieser Tatsachen (und sie gehen bis Al. Braun und das Jahr 1849 zurück!) überhaupt in der Botanik der Mechanismus Fuß fassen konnte, und wieso es noch heute Botaniker gibt, die der Pflanze Triebe und damit die Elemente des Seelenlebens absprechen! Und wer sich etwa demgegenüber auf den allerdings schon längst unhaltbaren Standpunkt zurückziehen will, daß solche spontane, also Willensäußerungen nur von Algen und Pilzen, d. h. mit den Protozoen eng verwandten Wesen, bekannt, aber mit der phylogenetischen Entwicklung

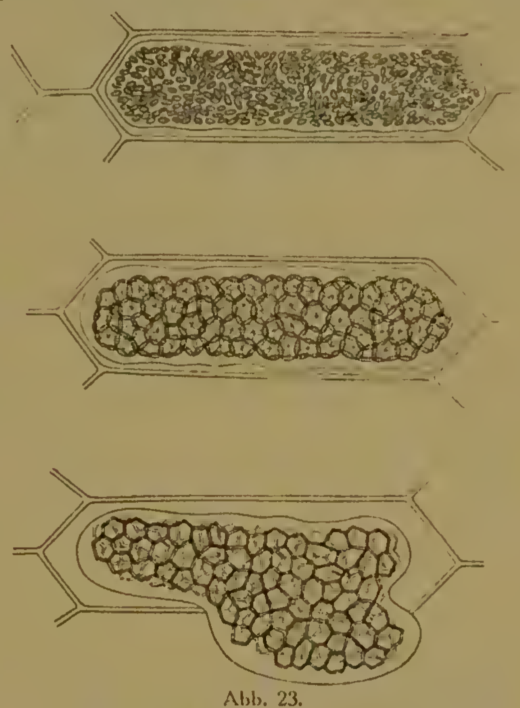


Abb. 23.
Drei Stadien regulärer und spontaner Netzbildung von *Hydrodictyon reticulatum* aus schwärmenden Zoosporen. (Nach Kerner.)

[1]) R. H. Francé, Das Leben der Pflanze, Bd. III, S. 64.



Abb. 24.
Ein Amöbenpilz (*Polysphondylium violaceum*), der seine Fruchtkörper nach Art der *Dictyostelien* baut. 1. Sporen mit ausschlüpfenden Amöben (rechts davon einige erwachsene Amöben), die sich zu einem großen Plasmodium (2) vereinigen, das sich in der Mitte auftürmt, bis aus den Amöben ein Stiel (3) entsteht, an dem ein Teil der Individuen hinaufklettert und sich oben zu Sporenköpfchen (4, siehe unten) zusammenlagert. Mäßig vergrößert. (Nach Brefeld und Engler-Prantl.)

der Pflanzenreihe erloschen und durchaus mechanisiert seien, den widerlegen die zahllosen allbekannten gamotropen Bewegungen der Blütepflanzen, wie sie namentlich Hansgirg (der sich unter der Wucht solcher Einsicht kürzlich formell der von uns vertretenen Hypothese anschloß)[1]) analysiert hat. Wenn *Mimulus luteus* die Lippen der Narbe nach Bedarf schließt und öffnet; wenn die Staminodien in der Blüte von *Arum* im geeigneten Moment einschrumpfen; wenn bei *Dryas octopetala* oder den alpinen *Anemonen* Bewegungen und Krümmungen der Blütenstiele sich mit solchen der Staubfäden und Griffel höchst verwickelt koordinieren und kombinieren usw. in unermeßlicher Mannigfaltigkeit[2]), um Autogamie zu ermöglichen,



Abb. 24, Fig. 4.

[1]) Vgl. A. Hansgirg, Zur Frage der Phytopsychologie (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908).

[2]) Vgl. darüber mein: Leben der Pflanze, Bd. II, S. 531 u. ff.

so ist die Zielstrebigkeit aller dieser autogenen Wachstumsbewegungen (über die keine einzige mechanistische Analyse, überhaupt höchst vielsagenderweise nur ganz wenig Literatur vorliegt) ein unumstößlicher Beweis, daß diese sog. Instinkthandlungen (wie sie A. v. Kerner bezeichnet hat) sich mit der phylogenetischen Entwicklung der Pflanze nicht rückentwickelten, sondern sogar so weit komplizierten, daß R. Semon damit die Pflanzenpsychologie ad absurdum führen zu können glaubte. Er wies nämlich auf sie als nur mit einer wahren Metapsychik lösbare Erscheinungen hin, — als ob die Schwierigkeit eines neuen Arbeitsgebietes ein Gegenargument wäre!

Ebenso hat auch Fechner geglaubt, daß die höchste Komplikation des Innenlebens, der eine Pflanze überhaupt fähig sei, in der Blüte erreicht werden müsse; nicht umsonst hat er in seiner blumigen Sprache die Blüte mit einem Tier verglichen, das der vegetativen Pflanze aufsitzt. Daß aber auch schon einfachste Betätigung hierbei die verblüffendsten Wirkungen zu erzielen vermag, haben mir Versuche an *Parnassia* bewiesen, über die ich an anderem Orte ausführlich berichtet habe.[1])

Die Blüte von *Parnassia* (Abb. 25) wird bekanntlich von zahlreichen Fliegen, Käfern und anderen Kerfen besucht, die von den wie Honigtröpfchen blinkenden Drüsen der Nebenkronblätter angelockt werden. Dabei vollführen die zuerst reifenden Staubblätter spontane Bewegungen. Sie wachsen gelegentlich des Reifens gleich so, daß sich der Staubfaden über die Narbe beugt, worauf die sich nach außen öffnenden Staubbeutel besuchende Insekten genau an der Stelle einpudern, welche bei dem Besuche einer Blüte, die schon ihre Narbe geöffnet hat, mit dieser in Berührung kommt. Jedes ausgeblühte Staubblatt senkt sich in weitem Bogen zurück, und erst, wenn alle 6 Staubblätter ausgeblüht haben, öffnet sich die Narbe.

P. Knuth berichtete vor Jahren,[2]) daß er folgende individuelle Variation dieser koordinierten Wachstumsbewegungen beobachtet habe: Im Zimmer gehaltene abgeschnittene Parnassienblüten reiften ihre Narbe gleichzeitig mit den Staubblättern, sistierten die Bewegungen der letzteren, so daß bei den schiefgestellten Blüten Selbstbefruchtung erfolgen konnte.

[1]) R. Francé, Die gamotropen Bewegungen von *Parnassia palustris* (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre III, 1909).

[2]) P. Knuth, Handbuch d. Blütenbiologie 1903.

An diesem Punkte setzten meine während zweier Blütenperioden vorgenommenen Untersuchungen ein. Der Knuthsche Versuch gelang wiederholt, durchschnittlich an 6% der Blüten. Da aber die Beobachtung von mehreren Hundert Blüten im Freien zeigte, daß ein vorzeitiges Reifen der Narben unter natürlichen Umständen ebenfalls vorkommt, so schwindet damit der Beweiswert, daß hier eine individuell teleologische Reizverwertung beobachtet sei. Die reizverwertende Tätigkeit der Staubfäden wurde hierauf dadurch auf die Probe gestellt, daß in gesunden, lebenskräftigen Blüten vorsichtig teils die Narbe, teils die Staubbeutel amputiert wurden. Trotzdem es nun sinnlos war, weitere gamotrope Bewegungen auszuführen, ließen sich die Staubfäden dadurch nicht beirren und vollzogen ihr Neigen und Rückbiegen unbeirrt, unter Umständen auch nur noch mit einem winzigen Stumpfe. Dagegen sistierten sie die Bewegungen bei dauernder Verdunklung der Blüte. Daß es sich hierbei wohl um eine Schädigung des Stoffwechsels han-



Abb. 25.
Parnassia palustris. Autogamie, bewirkt durch spontanes Sistieren der Bewegungen der Staubfäden und vorzeitiges Öffnen der Narbe. (Original.)

delte, ging daraus hervor, daß die Bewegungen nach mehrtägiger Pause nur noch schwach wieder aufgenommen wurden, als die Versuchsblüten wieder in Tageslicht gestellt wurden.

Es ließ sich hieraus schließen, daß der Gamotropismus der *Parnassia*blüte eine Instinkthandlung sei, die anscheinend durch Lichtreize reflektorisch ausgelöst wird und wie alle Instinkte, nicht individuell variierbar, daher nur generell zweckmäßig zu sein scheint.

Diese Versuchsreihe deutet also darauf hin, daß die Teleologie der Blüten sehr wohl analysierbar ist und keineswegs in ein Labyrinth unerhörter Annahmen zu führen braucht. Und daß auch im Pflanzenreich Instinkte so definiert werden müssen, wie wir es im Tierreiche immer deutlicher vor uns sehen, nämlich als mnemisch reproduzierte, einst erlernte, zweckhafte Handlung, darüber stehen uns ganz überzeugende Beweise zu Gebote in den Ergebnissen, die W. Wächter über Reizverwertungen der Koniferennadeln erlangt hat.[1])



Abb. 26.
Trieb einer Tanne, dessen Spitze im Dunklen gewachsen ist. (Nach W. Wächter.)

Tanne und Fichte unterscheiden sich bekanntlich unter anderem dadurch, daß die Tanne ihre Nadeln in zwei Reihen kammartig angeordnet hat. Wächter zeigte nun, daß dies eine teleokline[2]) Reaktion auf Lichtwahrnehmungen sei, indem die Tanne entsprechend ihrem Lichtgenusse die Nadeln bald einseitig aufrichtet, bald zu zwei Kämmen gescheitelt anordnet oder sie im Dunkeln zu der für die Fichte kennzeichnenden radiären Stellung umordnet. Besonders lehrreich war hierbei ein Versuch, dessen Ergebnis in Abb. 26 abgebildet ist. Es wurden nämlich einige Seitenzweige einer Tanne in verschiedener Höhe noch vor dem Austreiben der Knospen in allseitig geschlossene Holzkästen geleitet, die so befestigt waren, daß die Zweige in ihrer natürlichen Lage verblieben. Im Spätherbst wurden die Kästen abgenommen, und die Sprosse zeigten das obenstehende Bild. Soweit der Kasten reichte, also das Licht ausgeschlossen war, waren die Nadeln radiär angeordnet, an dem

[1]) W. Wächter, Zur Kenntnis der richtenden Wirkung des Lichtes auf Coniferennadeln (Berichte d. deutsch. botan. Gesellschaft 1903).

[2]) Nach der glücklichen Terminologie von O. Kohnstamm, vgl. dessen Arbeit: Psychobiologische Grundbegriffe I.: Die Reizverwertung (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908).

belichteten Teil waren sie dem Lichte zugewachsen und bildeten einen Doppelkamm. „Wir haben es hier offenbar," sagt hierüber Wächter, „mit einem Zurückgreifen auf frühere einfache Zustände zu tun, die vielleicht einstmals lange Zeiträume hindurch die Form unserer Pflanze charakterisierten und die geeignet sind, uns die Geschichte der allmählichen Erlernung jener Blattbewegungen auch heutigestags noch zu erzählen", da wir annehmen müssen, daß die Sprosse der Tannen einst auch so gebaut waren, wie die der anderen Nadelhölzer, jedoch unter dem Einfluß einer allmählich gesteigerten Lichtempfindlichkeit den jetzigen Bau annahmen.

Es ist vielleicht mehr als genug Tatsachenmaterial aufgehäuft, auf dem wir für unsere Behauptungen starke und unzerstörbare Stützen zimmern konnten, wir können daher geradeswegs unserem Endziele zueilen. Einer der größten Namen unserer Wissenschaft hat es bereits ausgesprochen. Wenn G. Haberlandt in seiner berühmt gewordenen Akademierede[1]) sich unter dem Druck der Wirklichkeiten unserer Auffassung vom Wesen der Pflanze anschloß und sagt: „Man geht nicht zu weit, wenn man behauptet, daß in jedem Handbuch der Sinnespsychologie des Menschen eine Anzahl fruchtbarer Problemstellungen für die Sinnesphysiologie der Pflanzen zu finden ist. Blicken wir demnach in eine nicht allzuferne Zukunft, so deckt sich vielleicht dereinst der Inhalt beider Disziplinen in allen wesentlichen Punkten," — so ist schon heute seine Prognose von der Forschung bereits wahrgemacht.

Eine Aufstellung der von ihm gewünschten Parallele ergibt das auf den ersten Blick.

Wir haben im folgenden eine Reihe der Hauptgesetze menschlicher Nervenphysiologie und Sinnespsychologie zusammengestellt und dazu die entsprechenden Erscheinungen der Pflanzenphysiologie gesetzt:

Gesetze der physiologischen Psychologie des Menschen.	Korrespondierende Gesetze der physiologischen Psychologie der Pflanze.
1. Die Psyche des Menschen ist an lebendes Plasma gebunden.	1. Die Spontaneität der Pflanze ist an lebendes Plasma gebunden.

[1]) G. Haberlandt, Über Reizbarkeit und Sinnesleben der Pflanzen (Wien 1908, S. 21).

2. Psychische Akte lassen sich in drei Teile gliedern: In die Erregung des Sinnesendapparates durch einen gleichartigen Reiz, in die Fortpflanzung dieses Reizes durch die Sinnesnerven und in die Auslösung von Empfindungen (objektiv als Reizhandlung kundgegeben) im Sinneszentrum.

3. Apparate des Seelenlebens sind: Sinnesorgane, reizleitende plasmatische Nervenfasern (auch Hormone) und nervöse Zentren.

4. Psychische Aktivität gibt sich kund in Bewegungen, die spontan oder reizinduziert sind, in beiden Fällen zielstrebig und zweckhaft. Psychische Aktion beeinflußt auch Drüsenabscheidungen auf Reize hin (Vgl. Pawlow-Boldyreff[1]) und Biekel).

5. Die motorische Nerventätigkeit ist an Zeit gebunden (35 m p. Sekunde beim Menschen, 27 m beim Frosch, nach Helmholtz).

6. Die Nervenerregung ist von elektrischen Strömen begleitet.

7. Anaesthetica (Chloroform, Äther) setzen die Erregbarkeit der Nerven herab bis zum Verschwinden.

8. Schwache, an sich wirkungslose Reize bedürfen einer gewissen Dauer oder rascher Aufeinanderfolge, um wirksam zu werden. Diese Summation der Reize ist an Nervenzentren gebunden.

[1]) Vgl. W. N. Boldyreff, Die Anpassung der Verdauungsorgane an die Reize etc. (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1907).

2. Reize, die auf pflanzliche Sinnesorgane wirken, erzeugen eine Erregung, diese wird durch reizleitende Fibrillen (Fenner bei *Pinguicula*, etc., Fitting) geleitet und gibt sich als Reizhandlung kund.

3. Bei der Pflanze sind vorhanden: Sinnesorgane, reizleitende Fibrillen, ebenso chemische Reizleitung und Reaktionszentren (Zellkern, Kinoplasma bei *Euglena*, Francé S. 26, 34; Vegetationspunkt, Wagner S. 48).

4. Das Aktionsvermögen der Pflanze gibt sich kund in Bewegungen (teils vegetative Wachstumsbewegungen, teils dieselben Aktionen wie bei Muskeln, Engelmann S. 95), die spontan (gamotrope Bewegungen) oder reizinduziert sind (Tropismen), in beiden Fällen zielstrebig und zweckhaft verlaufen. Teils in reizinduzierter Drüsentätigkeit (Fenner S. 28).

5. Die Reizleitung mit motorischem Effekt ist an Zeit gebunden (*Drosera* untersucht durch Ch. Darwin).

6. Die pflanzlichen Reizhandlungen sind von elektrischen Strömen begleitet (Burdon-Sanderson 1873, Biedermann und Bose).[1])

7. Anaesthetica (Chloroform, Äther) setzen die Erregbarkeit der Pflanze bis zum Verschwinden herab (Rothert S. 82).

8. Die Pflanzenzelle ist zu der gleichen Summation der Reize befähigt, wie das menschliche Nervenzentrum (Steinach S. 85).

[1]) Vgl. J. C. Bose, Plant Response 1906, und W. Biedermann, Elektrophysiologie 1895.

9. Die Präsentationszeit der Reflexzentren beträgt geringe Bruchteile einer Sekunde.

9. Die Präsentationszeit pflanzlicher Erregungen beträgt Bruchteile einer Sekunde (bis 1/1000 Sek., Fitting, Fröschel, S. 85).

10. Die Zellen der Hirnrinde vermögen die Erregungen zu verknüpfen (Assoziation); die Empfindungen hinterlassen in ihr Erinnerungsbilder, welche mit Erregungen assoziiert werden können.

10. An die lebendige Substanz gebundene Erregungsverknüpfungen (Assoziationen) und Reaktionen, die auch auf früher an den Organismus herangetretenen Reizen beruhen, sind auch von den Pflanzen bekannt (Fr. Darwin, Semon, S. 63).

11. Die psychische Funktion ist stets aktive Zwecktätigkeit.

11. Die Pflanze ist zur aktiven Zwecktätigkeit befähigt.

12. Diese Zwecktätigkeit ist an Erfahrungen, erkannte Mittel und an Motive gebunden, also beschränkt.

12. Die Zwecktätigkeit der Pflanze ist beschränkt und an Mittel (auch phylogenetisch ererbte) gebunden (Jugendformen S. 51).

13. Die Nerventätigkeit erlahmt durch längere Funktion (Ermüdung), erneuert sich aber nach Ruhe.

13. Die Erregbarkeit der Pflanze erlahmt durch längere oder öftere Funktion (Steinach, Czapek S. 85), Ermüdung, wird aber durch Ruhe wiederhergestellt.

14. Die Sinnesorgane des Menschen sind spezifisch den Reizqualitäten angepasst, z. B. Lichtsinn an erregbare plasmatische Elemente geknüpft, durch Linsen und Lichtschirme unterstützt; Tastsinn an Papillen geknüpft.

14. Die Licht-, Tast- und Schwerkraftsinnesorgane sind spezifisch den Reizqualitäten angepasst (Haberlandt S. 25). Lichtsinn, an erregbares Plasma geknüpft, durch Linsen und Lichtschirme unterstützt *(Epidermis* von *Fittonia, Euglena, Pandorina, Pouchetia*, Haberlandt, Francé, Schütt, S. 28), Tastsinn, an Papillen geknüpft (Pfeffer, S. 25).

15. Licht verschiedener Wellenlängen erzeugt im menschlichen Auge differente Farbenempfindungen.

15. Pflanzen *(Euglena, Oscillaria)* verraten durch (Bewegungs-) Reaktionen, daß sie Licht verschiedener Wellenlängen (also Farben) unterscheiden (Engelmann, Francé und Gaidukov, S. 71).

16. Die Empfindungsintensität ist dem Logarithmus der Reizintensität proportional (Webersches Gesetz).

16. Die Gültigkeit des Weberschen Gesetzes wurde auch für Pflanzen festgestellt (Pfeffer u. a., S. 84).

17. Bei dem menschlichen Auge (und den anderen Sinnesorganen) wirken Reize noch nach, nachdem ihre unmittelbare Wirkung schon aufgehört hat.

17. Nachwirkungen von Licht- und anderen Reizen sind auch für Pflanzen festgestellt (Pfeffer, S. 37, 63).

18. Rasches Durcheinander von Lagempfindungen hat Schwindel (gestörte Orientierungsreaktion) zur Folge.	18. Rasches Durcheinander von Lagempfindungen zieht „Drehschwindel“ der Pflanzen nach sich (Haberlandt, S. 83).
19. Um die Reaktion in gleicher Stärke zu erhalten, ist auf die Dauer ein größerer Reiz notwendig (Gewöhnung).	19. *Mimosa* kann an Erschütterungsreize gewöhnt werden. Um gleiche Bewegungsreaktionen zu erhalten, sind intensivere Reize nötig.
20. Bewußte Handlungen des Menschen sinken durch Gewöhnung zu unbewußten Handlungen (Automatizismen und Reflexen) herab.	20. Automatische Handlungen (*Parnassia* von Francé festgestellt, S. 89) und Reflexe (Czapek, Francé, S. 34, 91) sind auch von Pflanzen bekannt.
21. Das Talbotsche Gesetz gilt sowohl für das menschliche Auge wie	21. für den pflanzlichen Heliotropismus (Nathansohn und Pringsheim, Fröschel, S. 84).

Hieran schließt sich die weitere höchst bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen Mensch (Tier) und Pflanze, die sich auf die Ausführung der Bewegungsreaktionen bezieht. Th. W. Engelmann machte darauf aufmerksam[1]), daß in der Ausführung der Bewegungen durchaus nicht immer der prinzipielle Unterschied vorhanden sei, den man in allen Handbüchern betont findet. Zwischen der Muskelkontraktion und den Bewegungen des ungeformten Protoplasmas haben sich schon seit langem Übergänge ergeben[2]). Ihnen sind aber die auf Änderung elastischer Spannungen beruhenden Bewegungen von *Mimosa, Oxalis*, der Staubfäden von *Berberis* insofern gleichzustellen, als auch sie durch Erregungsvorgänge im Plasma veranlaßt werden, ziemlich rasch erfolgen, umkehrbar sind und durch elektrische, mechanische und andere „Reize“ hervorgerufen werden können.[3])

Diese beiden faßt er als animale Reizbewegungen gegenüber den vegetativen Wachstumsbewegungen zusammen. Von letzteren ist es jedoch auch nicht ausgeschlossen, daß sie zum Teil noch immer Kontraktionsvorgänge darstellen (z. B. die mitotischen Bewegungen).

---

[1]) Vgl. Th. W. Engelmann, Zur Theorie der Kontraktilität I. (Archiv f. Anatomie und Physiologie 1907).

[2]) Vgl. Th. W. Engelmann, Mikroskopische Untersuchungen über die quergestreifte Muskelsubstanz II (Pflüger's Archiv 1873, Bd. VII).

[3]) Engelmann, Zur Theorie etc., S. 49.

Dadurch wird auch in der Ausführung psychisch gelenkter Bewegungen die Kluft zwischen Mensch (Tier) und Pflanze überbrückt.

Wir haben also, wenn wir unsere Zusammenfassung überblicken, die beruhigende wissenschaftliche Gewißheit, daß zwischen Mensch und Pflanze nicht nur Analogien wesentlichster Art bestehen, sondern für die pflanzliche Sinnesphysiologie auch in ganzer Reihe dieselben Gesetze gültig sind, wie in der menschlichen Psychologie.

Damit ist der Zweck unserer Untersuchung erreicht und die wissenschaftliche Berechtigung erlangt, in der Pflanze das Walten psychischer Gesetze anzuerkennen.

Der gleiche Ablauf von Reizreaktionen, die gleiche gesetzmäßige Lenkung dieser Reaktionen, die Übereinstimmung zwischen Mensch und Pflanze, nach der bei beiden gleiche Motive gleiche Effekte auslösen, das alles zwingt uns den Schluß auf die gleiche psychische Ursache dieses identischen Verhaltens mit logischer Notwendigkeit auf.

Ich bin mir dessen wohl bewußt, daß hiermit eine fundamentale Reform der ganzen botanischen Wissenschaft eingeleitet ist, daß es also naturgemäß die schwersten Kämpfe bedarf, um diese Umwälzung zum Gemeingut unseres Wissens zu machen. Kein Unvoreingenommener wird sich der Kraft der Argumente entziehen können, die durch den Stand der heutigen Forschung in unsere Hand gegeben sind, und dies muß uns vorläufig genügen. Die Wahrheit wirbt für sich selbst, und so, wie sich seit dem Beginn wissenschaftlicher Forschung in jeder Generation Männer gefunden haben, die nicht zu täuschen waren über das Wesen der Pflanze, so, wie sich neuerdings die Zahl dieser Männer zu einer stattlichen Schar von schon fast hundert Köpfen vermehrte, rastlos tätig in dem Archiv der neuen Psycho-Biologie, der hier so oft genannten Zeitschrift für den Ausbau der Entwicklungslehre, durch Forschung, Kritik und Sammeln der Bausteine aus den weiten Gefilden der wissenschaftlichen Literatur, so wird auch langsam, aber sicher die von uns herausgearbeitete Erkenntnis die ganze Botanik ergreifen und umgestalten. Diese Sicherheit kann uns kein Widerstand der Personen rauben.

Wir sind uns aber auch völlig klargeworden darüber, daß es heute erst gilt, das Wesen der Frage den Einsichtigen zugänglich zu machen. Darum haben wir uns hier über die Rangordnung der Probleme nicht hinweggesetzt, sondern uns darauf beschränkt, dies Psychische als causa dirigens (um mir einen glücklichen Ausdruck von A. Pauly zu borgen) der pflanzlichen Lebenserscheinungen logisch und empirisch sicherzustellen.

Über den Grad dieses Psychischen etwas Endgültiges auszusagen, halten wir derzeit nicht für möglich. Versuche, die Möglichkeiten zu diskutieren, wurden ja mehrfach gewagt.[1]) Sie widersprechen sich und beweisen damit das, was von vornherein einzusehen war: daß alles Weitere auf dem Gebiete der Pflanzenpsychologie erst durch den Ausfall der Versuche bestimmt wird, denen wir uns nun mit größtem Eifer zu widmen haben.

Nur das eine ist vielleicht nicht überflüssig schon jetzt zu betonen: Die Bewußtseinsfrage ist für das Wesen der Sache ganz irrelevant. Mehrere meiner Kritiker haben mir die Ansicht untergeschoben, ich trete für ein bewußtes Handeln der Pflanze ein. Ich habe mich in meinem „Leben der Pflanze" unzweideutig darüber geäußert und wiederhole es hier, daß ich diese Frage heute noch nicht für spruchreif halte. Sicher ist, daß die Pflanze zahllose Reflexe und Automatismen, daß sie mnemische Erscheinungen aufweist, und daß solches beim Menschen durchaus unbewußt, korrekter gesagt, unterbewußt zu sein pflegt. Wenn aber jemand daraus den Schluß ziehen will — und es hat an solchen Versuchen bereits bisher nicht gefehlt —, daß durch das Reflexmäßige vieler pflanzlicher Reaktionen das rein Mechanische bewiesen und das Psychische abgewiesen sei, so erinnere er sich daran, daß (abgesehen von den unzweifelhaften Trieben der Pflanzen, in denen alles Seelische gegeben ist) Wundt, Jodl, Fouillé und viele andere maßgebende Psychologen unserer Zeit uns längst

[1]) Vgl. R. H. Francé, Das Leben der Pflanze, Bd. II; A. Pauly, Lamarckismus und Darwinismus, 1905; — auch A. Oelzelt-Newin, Die Hypothese eines Seelenlebens der Pflanze (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1907); ebenso die sehr klare Zusammenfassung der E. v. Hartmannschen Lehren von W. v. Schnehen, E. v. Hartmann und die Pflanzenpsychologie (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908); desgl. K. Gräser, Die Vorstellungen der Pflanzen (ebendort 1907).

davon überzeugt haben, daß sich Bewußtes mechanisiert und automatisiert, und daß die Reflexe und automatischen Vorgänge nichts anderes als Überbleibsel ursprünglicher Willensvorgänge sind!

Wahrhaft klassische Worte sagt uns hierüber R. Eisler in seinen großzügigen Ideen zu einer organischen Psychologie,[1]) wenn er meint: Mit Wundt „müssen wir es ablehnen, aus dem seelenlosen Reflex das Willensleben genetisch abzuleiten, da so etwas wie ‚Tendenz‘, Erstreben, schon von Anfang an den Lebewesen eigen gewesen sein muß, sollten jemals wollende Wesen im höheren Sinne aus ihnen werden. Ein absolut willenloser Zustand ist weder psychologisch noch auch biologisch denkbar. Letzteres deshalb nicht, weil ohne einen wirklichen Trieb zur Selbsterhaltung, zum Selbstschutze, zur Abwehr feindlicher An- und Eingriffe, zur Aufsuchung, Festhaltung und Verarbeitung günstiger Lebensbedingungen und Erhaltungsfaktoren ein Bestehen und Fortschreiten des Lebens, der Lebewesen unmöglich gewesen wäre. Ein indifferentes, bloß empfindendes Lebewesen würde nicht auf Reize so reagiert haben, wie es unverkennbar schon die niedrigsten Organismen tun. Ohne Bedürfnis und triebmäßige Befriedigung desselben, ohne Impulse zur Nahrung, Bewegung usw. sind die Tatsachen der Biologie nicht wahrhaft verständlich; denn nicht bloß die äußeren physikalisch-chemisch beschreibbaren Lebenserscheinungen, Lebensäußerungen wollen wir in der Biologie und organischen Naturphilosophie erkennen, auch ihren inneren Grund, ihre innere Dynamik, ihr Triebwerk suchen wir zu erforschen. Will man nun die Unklarheiten und metaphysischen oder sonstigen überflüssigen Annahmen des ‚Vitalismus‘ vermeiden, auf unbekannte, ad hoc erdachte und konstruierte ‚Lebenskräfte‘ (Entelechien, Dominanten u. dgl.) Verzicht leisten, will man ferner die Geschlossenheit der Naturkausalität auch auf dem Gebiet des Organischen festhalten, dann bleibt nichts übrig, als die Biophysik und Biochemie durch eine Biopsychik zu ergänzen (nicht zu verdrängen) und einzusehen, daß psychische Regungen niederer und höherer Art, Strebungen eindeutiger und komplizierter Form, Tendenzen zur Erhaltung der organischen Einheit und Triebe und Wallungen, die daraus als Konsequenzen fließen, Mittel zum obersten Zweck sind,

[1]) R. Eisler, Das Wirken der Seele (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908, S. 214—215.

direkt und indirekt die Lebensvorgänge regieren und modifizieren, so aber, daß diese an sich psychischen Gestaltungen und Regulierungen objektiv als ein System physischer Prozesse erscheinen, die bei den niedersten Lebewesen noch an die ganze Plasmamasse, bei höheren aber an ein besonderes Organ, das Nervensystem und schließlich das Gehirn, gebunden sind."

V. Heuristik der Pflanzenpsychologie.

Wir haben das uns gesteckte Ziel erreicht, aber noch möchte ich meine Studie nicht schließen, ohne einige Bemerkungen über den forschungsanregenden Wert unserer Lehre. Es ist nämlich vorauszusehen (weil es noch bei jeder geistigen Umwälzung so war), daß in dem Stadium, da man die neue Wahrheit nicht mehr bezweifeln kann, gesagt werden wird: Gewiß, ein Psychisches ist auch in der Pflanze da. Aber es ist ein Epiphänomen, seine Erforschung führt zu keinen neuen Einsichten, die Pflanzenpsychologie hat keine Heuristik.

Schon jetzt melden sich vereinzelt derartige Stimmen. So hat der Zoologe L. Plate unserer Theorie kürzlich nur den Wert einer „Phrase" beigemessen, und in der Naturwissenschaftlichen Wochenschrift, als einem Organ des starrsten Mechanismus, erklärt ein mit Angersbach unterfertigter Artikel[1]), daß die psychischen Lebenstheorien „das dem bloßen Glauben angehörende Reich der Metaphysik" betreten, „ohne irgendwie der Forschung lösbare Probleme aufzuzeigen."

Das sind übereilte Einwände, bei denen der Wunsch Vater war.

Die Sätze, daß die Tropismen der Pflanzen psychische Äußerungen sind, daß psychische Gesetze Gültigkeit für das Pflanzenleben haben, und daß die pflanzlichen Regulationen nach psychischen Gesetzen ablaufen, sind logische Konsequenzen aus den Tatsachen der Forschung, die gezogen werden müssen, ob nun daraus ein heuristischer Nutzen entspringt oder nicht. Sie gehören einfach zur vollständigen Beschreibung der Phänomene.

Ohne sie klaffen jene wahrhaft komischen Widersprüche, die zum Beispiel zur „mechanischen Erklärung" spontaner Bewegungen

---

[1]) Vgl. Naturwissenschaftl. Wochenschrift 1908, S. 192. Ebenso auch Goebel, Experimentelle Morphologie, S. 23.

der Pflanzen einen „Autotropismus“ aufstellen, und die wir genugsam im ersten Abschnitt dieser Schrift beleuchtet haben.

Aber unsere Theorie zeigt sehr wohl der Forschung auch neue und zwar lösbare Probleme und weitere Einblicke in das Lebensgeschehen. Denn die von uns angenommene Ursache ist durchaus keine metaphysische. Psychisches vollzieht sich nach Gesetzen, es läßt sich unter Bedingungen stellen, durch Experimente analysieren. Zur Genüge haben wir das durch die Arbeiten der Münchener Schule gezeigt, die sich in der von ihr herausgegebenen Zeitschrift finden.

Es ist gerade das Gegenteil dieser Zweifel wahr: eine ungeahnte Fülle neuer Problemstellungen und experimenteller Arbeit erschließt sich mit unserer Arbeitshypothese[1]). Wenn die experimentellen Morphologen, wenn Goebel, Klebs, Vöchting, Winkler und ihre Schüler mit solchem Erfolg botanisches Tatsachenwissen zu fördern wußten, so ist es, weil sie sich der Methode bedienen, die ihre logische Rechtfertigung nur durch die Pflanzenpsychologie, nämlich durch die stillschweigende Anerkennung eines zwecktätigen Reaktionsvermögens der Pflanze, findet. Denn diese Forschungsmethode bringt die Pflanze unter besondere Bedingungen und registriert dann den Ablauf ihrer Abwehrreaktion. Sie stellt der Pflanze Fragen und beurteilt sie nach ihren Antworten. Das ist durchaus unmechanistisch gedacht und eine für Mechaniker unzulässige Methodik. Denn Maschinen antworten nicht. Man hütet sich, ihre Systembedingungen zu verrücken, denn dann sind sie ruiniert. Aber daß die botanischen Mechaniker den Pflanzenmaschinen Abwehrhandlungen zutrauen, beweist, daß sie sie doch anders einschätzen müssen, wie es auch die ganze verkappte Psychologie in der modernen Botanik bezeugt.

Soll ich vom Allgemeinen zu besonderen Exempeln übergehen, so kann ich reichlich neue lösbare Aufgaben zeigen, die sich durch unsere Hypothese ergeben. Sie liegen vor allem auf sinnesphysiologischem Gebiet, wie das auch schon Haberlandt betont hat. Ob die Leitung der Reize unabhängig voneinander

[1]) Einen Überblick über die Heuristik der Pflanzenpsychologie findet der Leser auch in meiner Abhandlung: G. Haberlandt und die Pflanzenpsychologie (Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1908).

sei, ob Kälte die Reaktionen verlangsamt, ob (analog der Homogentisinsäure) bei pflanzlichen Erregungen Kupfersäure ausgeschieden wird, ob vor dem Absterben der Zellen erhöhte Erregung besteht, wo sich die Regulations- und Koordinationszentren befinden, wie Strychnin auf Regulationen wirkt, das wären z. B. nur einige der hunderterlei Fragestellungen, durch die die Pflanzenpsychologie die Erforschung der Pflanze zu fördern weiß. Die ganze Reizphysiologie der Blüte und Frucht, ein heute scheu gemiedenes riesiges Arbeitsgebiet, wird ihre eigenste und fruchtbarste Domäne werden. Man vergesse nicht, daß Haberlandt, Nathansohn und Pringsheim, Steinach etc. ihre schönen Entdeckungen nur dadurch machten, daß sie der Pflanze psychische Analogien zutrauten!

Das von mechanistischer Seite eingestandenermaßen unlösbare Anpassungsproblem ist dem Pflanzenpsychologen ein Experimentalgebiet von größtem Reize und Wert, da hierdurch sowohl die Entwicklungslehre als auch die Systematik auf einen ganz neuen Boden gestellt wird.

Und wenn er, weit über das Gebiet seines Faches greifend, nicht nur eine einheitliche Grundlegung der Pflanzenphysiologie an Stelle ihres heutigen widerspruchsvollen Zustandes zu setzen weiß, sondern durch seine Analysen auch der Psychologie und mittelbar der Philosophie neue Kenntnisse und Anregungen zu bieten vermag, wenn er, uns die Pflanze menschlich verständlicher machend, zwischen der Botanik und der Bildung die längst abgerissenen Fäden aufs neue zu knüpfen versteht, wird er der Botanik als Wissenschaft wahrlich keinen schlechten Dienst erweisen, da er ihre Wichtigkeit und Schönheit in den Augen anderer Forscher und des Volkes hebt.

Daß ich mich hier nicht in Utopien verliere, dafür zeuge die Tatsache, daß sowohl Nathansohn und Pringsheim für das Talbotsche Gesetz neue Grenzen ermittelten und psychologisch Wertvolles erkannten wie auch Steinach bei Pflanzen für das Reizsummationsphänomen. Es möge schließlich dafür zeugen, daß das halberloschene Interesse für Botanik unter den Gebildeten mächtig aufflammte, seitdem die Möglichkeiten der Pflanzenpsychologie öffentlich erörtert werden. Daß aber ein solches Vorrücken einer Wissenschaft in der allgemeinen Aufmerksamkeit für sie unbedingt ein mächtiges Aufblühen nach sich ziehen muß, werden auch jene zugeben, deren Vorurteil der Kraft unserer hier zusammengetragenen Argumente noch widersteht.

VI. Literatur der Pflanzenpsychologie.

(Die Liste umfaßt nur jene Werke, die sich ausgesprochen mit der Frage einer pflanzlichen Beseelung beschäftigen, also nicht die ausgedehnte Literatur über pflanzliches Sinnesleben und Sinnesorgane, ebensowenig die sehr ausgedehnte populäre Literatur des Gegenstandes.)

Bechterew, W. v., Psyche und Leben. Wiesbaden 1908.

Borodin, H., Protoplasma und Vitalismus. Petersburg 1895. (Russisch.)

Darwin, F., Lectures on the physiology of movement in Plants. I. Associated Stimuli. (The new Phytologist 1906.)

— & D. M. Pertz, On the artificial production of Rhythm in Plants. (Annals of Botany 1903.)

Delpino, F., Il materialismus nella scienca. Genova 1881.

Driesch, H., Die „Seele“ als elementarer Naturfaktor. Leipzig 1903.

Eisler, R., Das Wirken der Seele. Ideen zu einer organischen Psychologie. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1908.)

Erdmann, B., Wissenschaftliche Hypothesen über Leib und Seele. Köln 1908.

Famintzin, Die Psychologie und die moderne Naturwissenschaft. Petersburg. (Russisch.)

Fechner, G. Th., Nanna oder das Seelenleben der Pflanzen. Leipzig 1848.

Fischer, E. L., Das Prinzip der Organisation und die Pflanzenseele. Mainz 1883.

Francé, R. H., Das Leben der Pflanze. Stuttgart 1905—1908. Bd. I—III.

— Grundriß einer Pflanzenpsychologie. (Zeitschr. f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre 1907.)

— Zur Kritik der Pflanzenpsychologie. (Zeitschr. f. d. Ausbau der Entwicklungslehre 1907.)

— Die Fortschritte der Pflanzenpsychologie im Jahre 1907. (Ebendort 1908.)

— G. Haberlandt und die Pflanzenpsychologie. (Ebendort 1908.)

Francé, R. H., Experimentelle Untersuchungen über Reizbewegungen und Lichtsinnesorgane der Algen. (Ebendort 1908.)

— Funktionelle Selbstgestaltung und Psychomorphologie. (Archiv für Entwicklungsmechanik 1908.)

— Die Lichtsinnesorgane der Algen. Stuttgart 1908.

— Die gamotropen Bewegungen von Parnassia palustris. (Zeitschrift f. d. A. d. E. 1909.)

Gräser, K., Die Vorstellungen der Pflanzen. (Zeitschrift f. d. A. d. E. 1907.)

Haberlandt, G., Über Reizbarkeit und Sinnesleben der Pflanzen. Wien 1908.

Haeckel, E., Die Welträtsel. Leipzig 1909.

Hansgirg, A., Zur Frage der Phytopsychologie. (Zeitschrift f. d. A. d. E. 1908.)

Hartmann, E. v., Philosophie des Unbewußten.

Heineck, O., Experimentelle Beiträge zur pflanzenpsychol. Hypothese. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1908.)

Höck, F., Sind Tiere und Pflanzen beseelt? Leipzig 1905.

Kerner, A. v., Pflanzenleben. Bd. I—II. Leipzig 1898.

Köhler, W. R., Untersuchungen über direkte Anpassung von Keimwurzeln. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1908.)

Kohnstamm, O., Intelligenz und Anpassung. (Ostwalds Annalen der Naturphilosophie.)

— Kunst als Ausdruckstätigkeit. München 1907.

— Psycho-Biologische Grundbegriffe. I.—II. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1908.)

Laplace, Essai philosophique sur les probabilités. Paris 1844.

Lasswitz, K., Seelen und Ziele. 1908.

Le Dantec, F., Eléments de philosophie biologique. Paris 1907.

Ludwig, F., Lehrbuch der Biologie der Pflanzen. 1895.

Martius, F., Die Unsterblichkeit der Pflanzen.

Oelzelt-Newin, A., Die Hypothese eines Seelenlebens der Pflanzen. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1907.)

Pauly, A., Darwinismus und Lamarckismus. München 1905.

Pauly, A., Die Anwendung des Zweckbegriffs auf die organischen Körper. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1907.)
— Kritische Betracht. z. Lamarckschen Frage. II. (Ebendort 1908.)

Rignano, E., Die Zentroepigenese und die nervöse Natur des Lebens. (Ebendort 1908.)

Römer, J., Mnemische Erscheinungen bei Oxalis valdiviensis. (Ebendort 1908.)

Schnehen, W. v., E. v. Hartmann und die Pflanzenpsychologie. (Ebendort 1908.)

Schrammen, F. R., Kritische Analyse von G. Th. Fechners Nanna. (Verhandl. d. naturhist. Vereins d. Rheinlande 1903.)

Schultze, F., Vergleichende Seelenkunde. 2. Buch. 1900.

Strecker, F., Das Kausalitätsprinzip der Biologie. 1907.

Treviranus, Biologie. 1836.

Vignoli, T., Über das Fundamentalgesetz der Intelligenz. Leipz. 1879.

Wagner, A. Der neue Kurs in der Biologie. Stuttgart 1907.
— Über die Anpassungsfähigkeit von Myriophyllum verticillatum. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1907.)
— Geschichte des Lamarckismus. Stuttgart 1909.

Wildt, W., Untersuchungen über den Einfluß mechanischer Hemmungen auf die histologische Entwicklung der Wurzeln. (Zeitschr. f. d. A. d. E. 1908.)

Nachschrift.

Nach Abschluß des Werkes liegen bereits wieder neue Stimmen zugunsten der pflanzenpsychologischen Hypothese vor, die im Text leider nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Auf eine Arbeit [1]) sieht sich der Verfasser genötigt, mit einigen Bemerkungen zu reagieren, da sie sein Wirken und Streben unverdientermaßen herabsetzt, obzwar sie selbst völlig gleicher Anschauung ist. Die Verfasserin beurteilt die Frage, ohne mit der grundlegenden neueren Literatur bekannt zu sein! Sie

[1]) W. Polowzew, Untersuchungen über Reizerscheinungen bei den Pflanzen. Jena 1909.

kennt weder die Arbeiten von Pauly, Wagner noch meine Hauptschriften noch die zahlreichen Abhandlungen in der Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre. Dagegen knüpft sie an eine meiner populären Schriften an und sucht sie als unwissenschaftlich abzutun, indem sie einer ihrer Metaphern wörtliche Auslegung zuteil werden läßt. Der Verfasser kann dieses Vorgehen nur als ein solches bezeichnen, das sich mit den Gepflogenheiten der wissenschaftlichen Forschung nicht vereinbaren läßt.

Im übrigen hat die Verfasserin nichts zu sagen, was nicht in der von ihr ungekannten Literatur bereits erörtert wäre.

München (Biologisches Institut), 1. Januar 1909.

Register.

Albizzia lophanta, Nachwirkungen 63.
Analogieschluß, wiss. Wert 23.
Anaesthesie der Pflanzen 82.
Anpassung, Entstehung der 14.
Antithamnion, Regulationshandl. 77.
Assoziationen bei Pflanzen 64.
Automatizismen bei Pflanzen 98.
Autotropismus 100.

Bechterew, v. W. 37.
Berberis, Reizsummation 85.
Berthold 77.
Bewegungswahl 35.
Bewußtseinsfrage 97.
Blattstellung, biol. Theorie 21.
Blütenbiologie, Physiolog. Analyse 75.
Boirivant, A. 45.
Borge, O. 68.
Braun, A. 87.
Bryhn 73.

Chara, regulativer Umbau 65.
Chromatium 37.
Clematis vitalba, Bewegungswahl 41.
Collodictyon triciliatum, Wahlfähigkeit 87.
Czapek, F. 44, 71, 85.

Darwin, Ch. 15, 38, 76.
Darwin, Fr. 25, 31, 54, 62, 63.
Daucus, Umformungen 57.
Delpino, F. 75.
Detto, C. 55, 71, 72.
De Vries, H. 52, 53, 62, 77, 78.
Dichogenie 78.
Diclytra spectabilis, Bewegungswahl 40.
Dictyostelium mucoroides, Triebhandlungen 87.
Digitalis, Bewegungswahl 39.
Direkte Anpassung 49.
Drehschwindel bei *Vicia* 83.
Driesch, H. 9, 29, 78.
Drosera, Bewegungswahl 38.
Drosera, chemische Regulationen 76.
Duftstoffe, regulative 73.
Dysteleologien 60.

Eisler, R. 98.
Elektion, der Pilze 86.
Elvfing, F. 82.
Empfindlichkeit der Pflanzen 85.
Empfindungen, als Regulativ 67, 68.
Engelmann, Th. W. 95.
Erlernung, bei Pflanzen 63.
Ermüdung bei Pflanzen 85.
Euglena viridis, Anaesthesie 82.
— — Reizhandlungen 33.
— — Reizsummation 85.
Experimentelle Morphologie, psychologische Methodik 100.

Fechner, G. 30.
Fechner 89.
Fenner, C. 28.
Fitting, H. 84, 85.
Fittonia Verschaffelti 26.
Florideen, Rhizoiden 68, 69.
Franceé, R. 22, 31, 34.
Fröschel, P. 84.

Gaidukov, H. 71.
Gallen, Teleologie der 75.
Gamotrope Bewegungen 88.

Geranium Robertianum, Koordination 41.
Gleitendes Wachstum 69.
Goebel, K. 7, 51, 53, 61, 65, 99.
Gräser, K. 97.

Haberlandt, G. 6, 25, 31, 69, 83, 92, 100.
Haeckel, E. 23, 29.
Handlung, Analyse der 28.
Hansgirg, A. 88.
Hanstein, v., J. 5.
Hartmann, v., E. 30.
Heineck, O. 40.
Hemmungserscheinungen 55.
Heterocentron, Regenerationen 80.
Höhnel, v., F. 69.
Holtermann 45.
Hydrodictyon reticulatum, Triebhandlungen 87.

Impatiens Mariannae 26.
Impatiens, Selbstamputation 78.
Instinkthandlungen der Blüten 89.
Jodl 97.
Johannsen, W. 82.
Jost, L. 44.

Kerner, v., A. 75, 89.
Klebs, G. 9, 11.
Knuth, P. 89.
Köhler, W. 55.
Kohnstamm, O. 91.
Koniferennadeln, Reizverwertungen 91.
Koordination der Bewegungen, bei Pflanzen 44.

Lamarckismus, mechanistischer 10.
Lasswitz, K. 30.
Lepidium, Präsentationszeit 84.
Lichtsinnesorgane der Algen 26.
Limnophila heterophylla, Anpassungen 50.
Ludwig, F. 75.
Lupinus albus, Orientierungsvermögen 56.

Marchantia, Formative Regulationen 67.
Maschinentheorie, Versagen der 66.
Massart, J. 78.
Mechanismus, Unzulänglichkeit 12.
Mesocarpus, Störung d. Koordination 83.
Migula, W. 18.
Mimosa, Anaesthesie 82.
Mimosa, Reizsummation 85.
Mneme 63.
Molisch, H. 37, 77.
Morgan-Moszkowski 8, 81.
Müller, H. 75.
Myriophyllum proserpinacoides 8.
Myriophyllum verticillatum, direkte Anpassungen 46.

Nägeli, v., C. 14, 70.
Nathanson, A. 84.
Neger, F. W. 42.
Němec, B. 25, 28.
Nordhausen 64.

Oedogonium, Lernen 37.
Oltmanns, F. 44, 68, 69.
Oelzelt-Newin, A. 97.
Oszillarien, regulative Farbstoffbildung 71.
Oxalis valdiviensis, Mnemik 64.

Parnassia palustris 75.
— — Instinktbewegungen 89.
— — Reflexe 91.
Pauly, A. 31, 53, 87, 97, 104.
Pediastrum, Triebhandlungen 87.
Penicillium glaucum, regulative Enzymbildung 71.
Pfeffer, W. 15, 75, 77, 86.
Pflanzenpsychologie, entwicklungstheoretische 29.
— physiologische 31.
— spekulative 30.
— teleologische 31.
Phaseolus, Entwicklungsbeschleunigung 60.
Phaseolus, regulative Sinnesorganbildung 70.
Phototaxie der Algenpilze 76.
Physiologische Psychologie, Gesetze der, bei Pflanzen 92.
Picea, Pyramidenform 68.
Pinguicula, Reizleitung 28.
Pinus, regulative Pyramidenform 68.
Plate, L. 99.

Plateau-Talbotsches Gesetz 84, 101.
Polarität 7.
Polowzew, W. 104.
Polysphondylium violaceum, Triebhandlungen 87, 88.
Polytoma Uvella, Reizverwertungen 33.
Pouchetia, Lichtsinnesorgan 28.
Prenanthes muralis, Bewegungswahl 39.
Pringsheim, E. 34, 64, 84.
Psychische Analogien 59.
Psychische Gesetze im Pflanzenleben 82, 96.

Reaktionen, individuelle 68.
Reaktionsvermögen 7, 13, 29.
Reflexbewegungen 44.
Reflexe als Residuen von Willenshandlungen 98.
Reflexe der Pflanzen 34, 44, 97.
Regenerationen 78.
— Analyse der 81.
Regulationen, chemische 75.
Regulationen, vererbte 62.
Regulationshandlungen 76.
Reinke, J. 19, 50.
Reizbewegungen, animale, b. Pflanzen 95.
Reizleitung in Pflanzen 29.
Reizleitung, Summation 85.
—, Zeit 85.
Reizphysiologie der Blüte 101.
Rhizophora, Umformungen 45.
Robinia Pseudoacacia, Umformungen 45.
Römer, J. 64.
Rothert, W. 76, 82.
Roux, W. 11.

Sachs, J. 5.
Saisondimorphismus 62.
Schnehen, v., W. 30, 97.
Schreckbewegungen 34, 37.
Schröder, H. 83.
Schübeler, F. 62.
Schwendener, S. 15.
„Selbst" der Pflanze 54.
Selbstregulationen 18.
Selektion, Unzulänglichkeit 73.
Semon, R. 23, 62, 63, 74, 89.
Simon, S. 81.
Sinnesorgane der Pflanzen 25, 35, 94.
Spirogyra, Reizsummation 85.
Splachnum, Regulationen 73.
Spontaneität der Pflanze 70, 79.
Stahl, E. 45.
Steinach, E. 85, 101.
Stimmungsänderung 64.
Stimmungsänderungen der Pflanze 84.
Suchbewegungen 27. 34.
Systembedingungen, autonome Änderung 79.

Tastsinnesorgane 25.
Teleologie, theistische 60.
Tischler, G. 28, 70.
Trennungsphelloide 69.
Triebe der Pflanzen 97.
Triebhandlungen der Pflanzen 87.
Tropismen, psychisch 99.

Vageler, P. 86.
Vampyrella spirogyrae, Wahlfähigkeit 86.
Variation der Reaktionen 55.
Vegetationspunkt als Regulationszentrum 48.
Verbascum nigrum, Bewegungswahl 39.
Vicia Faba, Drehschwindel 83.
— — Orientierungsvermögen 56.
— — Umformungen 57.
Vöchting, H. 17, 80.
Volvox, Bewegungskoordination 44.

Wachstumsbewegungen 95.
Wächter, W. 91.
Wager, H. 26, 27.
Wagner, A. 31, 46, 54.
Wahlfähigkeit 86.
Wahlvermögen 53.
Warming 18.
Weber-Fechnersches Gesetz 24, 84.
Wettstein, v., R. 18, 62.
Wiesner, J. 6, 16, 21, 38, 68, 70.
Wildt, W. 57.
Winkler, A. 45.
Wundt, W. 98.
Wurzelverkürzung, regulative 77.









